



Image , optique et Vision. Étude exploratoire sur les difficultés des élèves de première au Liban

Ali Fawaz

► To cite this version:

Ali Fawaz. Image , optique et Vision. Étude exploratoire sur les difficultés des élèves de première au Liban . Enseignement de la physique [physics.ed-ph]. Université Paris VII, 1985. Français. NNT : . tel-01273002

HAL Id: tel-01273002

<https://theses.hal.science/tel-01273002>

Submitted on 11 Feb 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE PARIS VII

IMAGE OPTIQUE ET VISION.

Etude exploratoire sur les difficultés des élèves de
Première au Liban .

THESE PRESENTEE

PAR

Ahmed Ali FAWAZ

Pour obtenir le titre de Docteur 3ème cycle.

Spécialité: Didactique des Sciences Physiques.

Soutenue le 11 FEVRIER 1985 devant la Commission d'examen:

Président : M. G. Delacote

Examineurs: Mme O. Betbeder-Matibet

M. N. JOEL

M J-L Martinand.

Mme L. Viennot

Directeur de Thèse: Mme L. Viennot

LABORATOIRE de DIDACTIQUE de la PHYSIQUE
dans l'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR.

UNIVERSITE PARIS VII

Vainement je cherche les mots qui expriment ce que ce travail doit à la rigueur, à la compétence, à la patience et aux qualités humaines de Madame Laurence Viennot.

Son soutien ne m'a jamais fait défaut, surtout dans les situations d'obstacles, où elle avait toujours la solution. Les traces de son crayon se trouvent presque partout dans la rédaction de ce travail, quelquefois pour cadrer des idées éparpillées et toujours pour améliorer l'expression française. Bref Madame Laurence Viennot a guidé avec une parfaite compétence tous les pas et toutes les démarches de ce travail, qu'elle trouve là ma très profonde gratitude, tous mes respects et tous mes vœux.

Je tiens à remercier tous les membres de l'équipe du L.D.P.E.S. pour les discussions qui ont mis sur la voie l'amorce de ce travail; j'apprécie avec reconnaissance les remarques directives de Madame E. Saltiel, de J.L Closset et de S.Fauconnet.

Je remercie cordialement Monsieur J-L. Martinand qui a poursuivi de près les dernières étapes de la rédaction, ce qui m'a permis de profiter de sa compétence dans le domaine, et de ses idées adéquates dans l'évaluation; qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je remercie Monsieur G.Delacote qui a soutenu la continuité de la didactique des sciences physiques et l'a consolidée, ce qui nous a permis, profitant de ses conseils judicieux, de poursuivre la tâche; je le remercie également de m'avoir fait l'honneur de présider la commission d'examen de cette thèse.

J'adresse enfin mes remerciements à Madame O.Betbeder-Matibet ^{et à Monsieur A. J. J. J.} qui ont accepté de contribuer à l'évaluation de ce travail.

* * * * *

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
<u>INTRODUCTION</u>	1
1- Objectif général	1
2- L'optique géométrique dans l'enseignement secondaire libanais	2
3- Lumière, vision et image: un aperçu historique.	3
4- Recherches récentes.	7
5- Thèmes spécifiques abordés dans l'étude et plan d'ensemble du document.	12
6- Methodologie: les questionnaires.	14
 <u>CHAPITRE I: LA CHAMBRE NOIRE</u>	 19
1- Existe-t-il une image ?	20
a- Le diaphragme est un petit trou.	20
b- Influence de la dimension et de la forme du diaphragme sur l'existence d'une image.	25
2- La forme de l'image.	29
3- Image de quoi ?	32
4- * Production des schémas pour les chambres noires.	35
* Récapitulation sur les schémas dans les chambres noires.	41
5- Conclusion sur les chambres noires.	42
 <u>CHAPITRE II: IMAGE DONNEE PAR UNE LENTILLE MINCE CONVERGENTE.</u>	 44
1- Couples objet-image dans la schématisation classique.	44
a- Correspondance point à point. Il faut deux rayons.	49
b- Le desir de mettre un "pied" à l'objet et à l'image correspondance point à point ou globale.	53
2- Caches et diaphragmes.	58
a- Cache circulaire	59
b- Le diaphragme annulaire comparé au cache circulaire.	67

	Page
3- Difficultés liées à l'infini.	72
a- Objet ponctuel à l'infini.	73
b- Objets étendus à l'infini.	81
4- Conclusion.	88
 <u>CHAPITRE III: LUMINOSITE - NETTETE.</u>	 90
1- Quelles définitions pour ces grandeurs ?	90
1.1 - Luminosité	90
1.2 - Netteté	91
1.2.1 - Q exploratoire. Qu'est-ce que la netteté ?	92
1.2.2 - Netteté au sens classique.	94
1.2.3 - Retour sur les informations recueillies par hasard.	95
2- Luminosité - Netteté.	99
2.1 - Depouillement des qVIII et qXIV.	101
2.2 - Association NETTETE - LUMINOSITE.	102
2.2.1 - Dépendance inverse entre netteté et luminosité:	103
<u>EBLOUISSEMENT</u>	
2.2.2 - Dépendance directe entre netteté et luminosité:	108
<u>BON ECLAIREMENT.</u>	
2.2.3 - Indépendance entre Netteté et Luminosité.	110
2.2.4 - Recapitulation sur la relation :	111
Netteté - Luminosité.	
3- Quelques autres propriétés de la luminosité et de la netteté, manifestées dans les réponses aux qVIII et qXIV.	112
3-1 - La luminosité de l'image croit avec celle de l'objet.	113
3.2 - La luminosité de l'image croit avec la proximité de l'objet.	114
3.3 - La netteté de l'image décroît avec la proximité de l'objet (écran fixe).	114

	Page
<u>CHAPITRE IV.: SYSTEMES OPTIQUES ET VISION DES IMAGES.</u>	115
1- Une première question exploratoire.	116
2- Image réelle, virtuelle, œil et écran.	118
3- Contrôle des résultats précédents - La vision et le foyer.	123
4- Le tracé du faisceau jusqu'à la rétine.	128
5- Récapitulation sur l'analyse de la vision de l'image donnée par un système optique.	132
 Conclusion: générale .	 134
 BIBLIOGRAPHIE	 141
 ANNEXE I	 144
ANNEXE II.	148
ANNEXE III.	150

INTRODUCTION

(1) Objectif général

Ce travail prend son origine dans une réflexion sur les objectifs de l'enseignement de la physique au Liban. Les objectifs explicites figurant dans les programmes officiels se limitent à une liste de contenus*. Aucun critère d'évaluation n'est suggéré. Quant aux objectifs implicites ils se limitent le plus souvent à celui-ci: réussir l'un des exercices type du baccalauréat, lesquels nous semblent couvrir une gamme d'aptitudes bien étroite**. Dans ces conditions, les concepts introduits en cours d'enseignement risquent fort de ne "fonctionner" qu'à travers un nombre particulièrement restreint de leurs propriétés. Il nous semble utile de favoriser une réflexion sur cet état de fait en amorçant un bilan des difficultés qui demeurent chez les élèves après enseignement. Un tel type d'information est évidemment composite, produit à la fois d'éventuels modes de raisonnement d'origine extrascolaire et d'un enseignement donné. Mais il est susceptible de fournir le cas échéant une bonne base de départ pour des études plus focalisées sur l'un ou l'autre de ces facteurs, tout en suggérant d'emblée des premiers éléments d'analyse sur une situation d'enseignement.

L'optique géométrique, contrairement à d'autres domaines conceptuels tels la mécanique ou l'électricité, n'a pas fait l'objet de nombreuses recherches didactiques (cf. plus loin; bibliographie). C'est pourtant un chapitre de la physique fort important notamment par toutes les applications pratiques auxquelles il permet d'initier les élèves. Ces deux raisons, jointes à une expérience personnelle importante dans l'enseignement de cette matière en classe de première au Liban, nous ont incité à centrer notre étude sur ce domaine.

* Voir annexe I

** Voir annexe II.

L'objectif de ce travail est donc de réaliser une exploration des difficultés liées à l'optique géométrique en classe de première . Nous espérons dégager certaines de ces difficultés de façon suffisamment nette pour en favoriser une prise de conscience par les professeurs et les élèves, ce qui nous semble une étape indispensable vers leur solution . Nous voudrions par là contribuer à une réflexion sur la définition des objectifs d'enseignement de cette matière.

Avant d'aborder le corps même de l'étude nous donnerons d'abord quelques indications sur la place de l'optique dans l'enseignement secondaire au Liban. Un rapide aperçu sur les difficultés historiques liées à cette matière ainsi que sur les recherches didactiques déjà effectuées sur ce point nous conduira à justifier le choix de thèmes de recherche plus précis.

(2) L'optique géométrique dans l'enseignement secondaire libanais.

L'optique géométrique reste la partie la plus dense, la plus importante et la plus difficile dans le programme actuel de la classe de première au Liban (voir annexe I).

La pratique enseignante nous l'avons dit concentre tout l'effort des élèves sur la réussite aux exercices classiques du baccalauréat. Ceux-ci (cf. annexe II) proposent à l'élève de chercher la position, la nature et la taille de l'image donnée par un système optique complexe formé généralement d'une association des lentilles avec des miroirs. Ils traitent aussi les instruments d'optique et les anomalies de l'œil qui sont considérés comme une application directe de la formule de Descartes.

Autant que nous puissions en juger , certains maîtres s'appliquent à faire apprendre aux élèves certaines formules encadrées dans le livre, ainsi que le tracé des rayons et des faisceaux dans les cas classiques. Ils parviennent dans l'ensemble à des taux de succès raisonnables (environ 50 %) sur les "exercices cibles" que l'on vient de décrire et qui

sont relativement complexes (voir annexe II) . Les applications pratiques de l'optique (scientifiques, industrielles, médicales) sont le plus souvent ignorées. Le travail pratique, dont l'importance pour la compréhension est signalé explicitement dans le programme, n'est assuré que par un nombre très limité de lycées privés et de missions étrangères au Liban. La majorité de nos élèves du "secteur public" ont du mal à distinguer pratiquement entre une lentille convergente et une lentille divergente.

Dans le projet du nouveau programme de physique au Liban l'optique géométrique n'occupe plus qu'une place très réduite, la partie conservée, résidant dans l'étude des lentilles et des instruments d'optique, est mentionnée comme application directe de l'étude des propriétés communes aux ondes. Tel est déjà le cas en France et plus généralement en Europe.

L'optique géométrique s'est vue écartelée entre une introduction élémentaire plus précoce qu'auparavant (on parle de lumière et d'image dès 13-14 ans) et le développement de l'optique ondulatoire-diffraction, interférence, polarisation - rendue particulièrement spectaculaire grâce au LASER.

Il nous semble pourtant que le rôle historique comme les innombrables applications actuelles de l'optique (dont la vision!) suffisent à justifier le maintien de cette matière dans nos programmes. C'est en outre une matière qui se prête admirablement bien à des travaux pratiques simples et motivants. Il serait donc très dommage qu'elle disparaisse, diluée dans l'étude plus générale et plus élaborée de la vibration lumineuse. Mais cette matière ne saurait être maintenue dans nos programmes sans que les objectifs d'enseignement correspondant fassent l'objet d'une réflexion spécifique.

(3) Lumière, vision et image: un aperçu historique .

Quelques étapes de l'évolution historique des idées en optique sont rapidement esquissées dans ce qui suit. Ce résumé fondé sur l'ouvrage

"optique science de la vision" de V. Ronchi (¹) permettra de mesurer combien les notions qui font l'objet de notre étude ont été difficiles à élaborer par nos ancêtres.

Quelques siècles avant J.C. les philosophes grecs avaient fait bien des efforts pour expliquer le phénomène de la vision; il n'y avait pas véritablement ce que nous appelons "une optique" mais on trouve dans leurs travaux des passages traitant de la lumière et des essais de définition d'une entité qui existerait dans l'espace situé entre l'œil et l'objet vu.

Les pythagoriciens, et après eux Euclide, croyaient que des rayons partaient de l'œil, en ligne droite, pour atteindre l'objet: ce fût là la conception des "rayons visuels" qui dura pendant plus de 15 siècles. Notons qu'Euclide sentit dans l'un de ses travaux, que la lumière partait du soleil pour venir se réfléchir sur un miroir concave et produire du feu, mais cela n'ébranla pas sa conviction. Ptolémée, 2 siècles après J.C. se fondait lui aussi sur un "feu magique" issu de l'œil pour expliquer la vision.

Mais une autre école, celle des atomistes, contemporains des pythagoriciens, avait émis une autre hypothèse, que l'on peut considérer comme la première idée sur les images. C'est la théorie des "idoles", selon laquelle de chaque objet partent dans toutes les directions des écorces infiniment petites. Celles-ci conservent l'ordre qu'elles avaient sur l'objet, traversent la pupille pour reconstituer la forme initiale de l'objet dans l'œil. Cette forme est transmise à la psyché qui s'arrange pour la localiser convenablement.

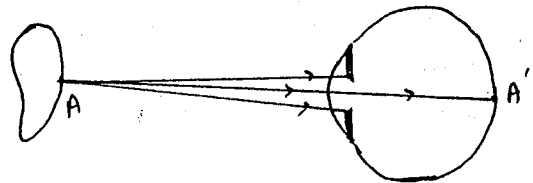
Pour Démocrite les idoles en provenance d'objets de grandes dimensions se réduisent en chemin afin de pouvoir pénétrer dans la pupille.

C'est à la fin du XI^{ème} siècle que ces théories grecques, celles des "rayons visuels" et celle des idoles, reçoivent un coup mortel avec l'apparition, en orient, d'un savant arabe "Ibn-El-Haytam" connu en occident sous le nom de "Al-Hazen". Dans son ouvrage appelé "Livre des paysages" Al-Hazen montre expérimentalement et pour la première fois dans

l'histoire des sciences, l'impuissance de ces théories devant certaines observations comme la "persistance des images retiniennes" ou l'impossibilité de la vision dans l'obscurité.

Al-hazen va dès lors orienter de façon décisive la voie de l'optique en imaginant, pour la première fois, une correspondance point à point entre objet et image. Après avoir étudié la structure anatomique de l'œil et dégagé l'importance de chaque membrane, il est convaincu de la nécessité d'un agent extérieur pour compléter le phénomène de la vision. Il suppose alors que la lumière part de tout point de l'objet dans toutes les directions et tombe sur la pupille de l'œil sous forme d'un cône ayant son sommet au point considéré et sa base sur la pupille. Mais, pour lui, un seul rayon (celui qui est normal à la cornée) pénètre dans l'œil sans se réfracter et tombe sur la rétine pour former l'image du point.

Les autres rayons ne jouent aucun rôle dans le phénomène. La convergence n'existe pas encore. Les rayons "pénétrant" correspondant aux différents points de l'objet



reconstituent l'image de l'objet pour permettre à l'observateur de concevoir la structure et la forme de cet objet.

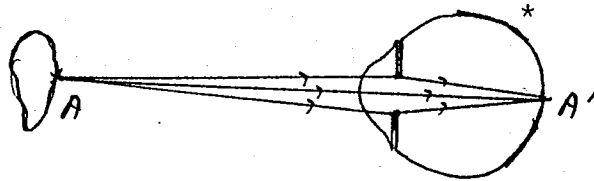
L'analyse du mécanisme de la vision amène Alhazen à supposer que la lumière se propage en ligne droite, ce qui le conduit à constater que la lumière se réfléchit sur les surfaces polies et se réfracte à travers les milieux transparents. Il construit même des images.

C'est donc là la première étude qui articule véritablement "lumière" et "image".

Mais l'influence d'Alhazen fût très faible en occident : d'une part la science grecque régnait toujours en Europe et d'autre part l'œuvre d'Alhazen était écrite en arabe, langue très mal connue à l'époque en occident.

Ce n'est qu'au XVIIème siècle que l'œuvre d'Alhazen, traduite par Villelione, trouve en Képler un écho décisif. Celui-ci reprend l'idée

du savant arabe, la rectifie et la formule sous la forme que nous connaissons actuellement. Képler pour la première fois associe l'idée de la convergence à celle de la correspondance point à point selon le schéma ci-joint.



Képler ne s'est d'ailleurs pas contenté de régler l'aspect géométrique du problème. La façon dont le cerveau apprécie distance, couleur et forme des objets, en bref des éléments d'optique physiologiques sont également discutés.**

Cet aperçu très rapide sur l'histoire de la lumière suffit déjà à situer toute la difficulté que nos ancêtres ont éprouvée pour articuler entre elles les notions de lumière, de vision et d'image, ainsi que les principales étapes de cette longue gestation. Il n'est pas exclu que nous retrouvions chez nos élèves des échos de ces temps reculés.***

* V. Ronchi, dans *Optique science de la vision*, page 33, formule la proposition de Képler sous la forme suivante: "Képler considère les corps matériels comme constitués d'une infinité de points parmi lesquels ceux de la surface émettent des rayons rectilignes qui s'étendent à l'infini tant qu'ils ne rencontrent pas d'obstacles. Chaque point émet une étoile (signifie un point) de rayons dans toutes les directions; si en face se trouve un œil, un cône des rayons y pénètre, ce cône a pour sommet l'étoile et pour base la pupille. Ces rayons se réfractent ensuite soit à travers la cornée soit à travers les milieux internes de l'œil et viennent former un nouveau cône qui a encore pour base la pupille mais pour sommet un point de la rétine.

** On sait que sur ce point l'histoire n'est pas finie puisqu'on ignore pour une large part les mécanismes interprétatifs cérébraux par exemple quant aux illusions d'optiques.

*** Voir sur ce point la thèse de 3ème cycle...K. Haddadah. 1984. Paris VII (14).

4) Recherches récentes.

La plupart des recherches en Didactique dans ce domaine concentrent leurs travaux sur la lumière. Peu de travaux portent sur les "images".

Dans son traité "Comprendre la causalité" Piaget (2) parle brièvement d'une recherche par "interview" sur deux questions, l'une portant sur la formation d'une tâche lumineuse sur un mur par une lampe de poche et l'autre sur la façon dont on voit l'image d'un objet dans un miroir. Piaget conclut quant à la première situation que les enfants âgés de (11-12 ans) (début du stade III, stade opératoire formel) ne conçoivent pas l'existence d'un "quelque chose" qui se propage entre la lampe et le mur (l'un des enfants interrogés répond cependant: je ne la (la lumière) vois pas, mais je sais qu'elle est là); tandis que pour la deuxième situation Piaget ne donne aucune précision ni conclusion.

En 1977, une recherche menée dans le groupe de travail du LIRESPT* par A. Thibergien , G. Delacote (3) sur la conception de la lumière chez l'enfant de (10-12 ans) a mené aux résultats suivants:

- L'enfant confond source de lumière et lumière. Il utilise le mot lumière pour désigner la "lampe" qu'elle soit allumée ou éteinte.

- "Lumière" signifie éclaircissement intense ou éblouissement. Il utilise le mot lumière pour désigner quelque chose dont l'éclaircissement est très intense et dont la perception est plus forte que celle d'un objet ordinaire. La lumière et ses effets sont ainsi confondus.

- Par contre pour eux "lumière" et "jour" ne sont pas équivalents, le mot jour désigne une observation habituelle alors que le mot lumière signifie comme nous l'avons déjà signalé une perception de forte intensité.

*- Laboratoire Interuniversitaire de Recherche sur l'Enseignement des Sciences physiques et de la Technologie. PARIS VII.

- Le terme "Ombre" évoque l'existence d'une source mais élimine toute référence explicite à la lumière en tant que telle, et l'enfant parle de "reflet" pour désigner "ombre" "image" ou "lumière": "il y a le reflet des maisons et des arbres dans une rivière" est une réponse de l'un des enfants qui met en cause toute utilisation du mot lumière en tant que telle. Les enfants interrogés mettent en relation la taille de l'ombre et l'intensité de la source lumineuse.

Thibergian et al (3) concluent que le concept de la lumière à ce niveau n'est pas maîtrisé, que l'enfant à cet âge ne fait pas une description effective des propriétés intrinsèques de la lumière et que s'il utilise couramment le verbe "réfléter" ceci ne requiert aucune maîtrise de ces propriétés. Le langage usuel domine les raisonnements des enfants dans les entretiens et dans les questionnaires. Très peu nombreux sont ceux qui ont suggéré l'existence de "quelque chose" entre la source et l'œil, donc en termes plus clairs "il n'y a aucun indice expérimental perceptible sur la maîtrise du concept chez les enfants ", ce qui s'accorde sensiblement avec la constatation de Piaget. Cette étude a conduit les chercheurs à admettre l'existence d'une divergence considérable dans la plupart des situations entre les schémas explicatifs du physicien et ceux de l'enfant.

En (1978) E.Guesne, A. Thibergian et G. Delacote (4) ont mené une recherche traitant deux concepts: La "chaleur" et la "lumière". Deux niveaux d'âge étaient interrogés (11 ans) et (14 ans). Pour la première population les résultats rejoignent ceux de la recherche précédente . Pour les élèves de (14 ans) les résultats montrent qu'à ce niveau l'enfant commence à connaître la lumière comme "entité" en tant que telle , possédant des propriétés spécifiques qui vont jusqu'à l'évocation de la vitesse de propagation. La classe de quatrième montre "une évolution sensible qui va d'une identification de la lumière à sa source ou ses effets vers une reconnaissance de la lumière comme entité en mouvement dans l'espace".

Dans le but de savoir quelle idée peuvent avoir sur la lumière des enfants (13-14 ans) qui abordent la classe de quatrième, E.Guesne(5)

interroge en 1976 une vingtaine d'élèves sur la vision d'un objet lumineux par lui-même (un baton d'encens) et d'un autre éclairé indirectement. Le protocole de l'entretien directif vise à faire apparaître ce que l'enfant connaît à propos du mécanisme de la vision et des propriétés intrinsèques de la lumière.

Trois catégories apparaissent dans l'exploitation des résultats:

- la population de la première catégorie évoque la nécessité de la lumière pour voir un objet, mais il n'est pas nécessaire que cette lumière arrive à l'œil.
- les enfants de la deuxième catégorie expriment l'existence d'un "quelque chose" qui va de l'œil vers l'objet (théorie des rayons visuels).
- la troisième catégorie, qui regroupe la plupart des enfants, n'évoque l'existence d'aucun lien entre l'œil et l'objet.

Pour toutes les catégories la lumière est connue par ses effets, elle n'est reconnue que lorsqu'elle est très intense donc capable de produire une sensation d'éblouissement (conception citée dans les travaux de A. Thibergian et al), ce qui provoque alors, pour certains, l'existence d'une image au fond de l'œil, tandis que l'existence d'une telle image ne se manifeste guère dans le cas d'un objet ordinaire.

Bref pour ces élèves, un œil qui ne souffre pas en regardant les objets n'est pas conçu comme receuteur de lumière. Il semble que le langage usuel et l'expérience vécue influent énormément sur les représentations préexistant à l'enseignement chez les élèves au début de la classe de quatrième.

B.Anderson (Mai 1981) (6) a mené en collaboration avec Ch.Karrqvist, une recherche plus détaillée que les précédentes. Dans les questionnaires écrits ont été proposées plusieurs situations visant à faire apparaître les conceptions des élèves et les idées qu'ils ont sur la propagation de la lumière, l'espace séparant l'œil de l'objet, la réflexion, les couleurs et la formation de l'image d'un objet par une

lentille convergente. C'est sur ce dernier aspect que nous devons insister car pour la première fois nous trouvons une investigation qui porte sur la formation d'une image. D'ailleurs les résultats obtenus à propos des autres situations de questionnement sont compatibles avec ce que nous avons déjà signalé à propos des recherches précédentes. Notons que les auteurs n'ont pas accordé tellement d'importance aux résultats de cette question qui dans un sommaire de la recherche édité un peu plus tard a disparu.

Une faible proportion des élèves (13-15 ans) ayant déjà reçu un enseignement sur les lentilles parle de réfraction, certains parlent de réflexion, d'autres ne peuvent pas concevoir la formation d'une image sur le mur; la constatation commune à l'ensemble de la population fut la production d'un schéma; tout le monde, à la mode d'Alhazen, fournit des figures globales avec un seul rayon émis par un point de l'objet (cette constatation sera d'ailleurs fréquente dans notre travail).

Dans les entretiens, la question partant sur la formation de l'image a disparu encore une fois, l'exploitation des autres questions fournit des informations qui confirment ce que nous avons déjà cité précédemment: la nécessité de la lumière pour la vision, la nécessité pour certains de l'existence d'une entité entre l'objet et l'œil, cette entité allant soit de l'œil vers l'objet (rayon visuel) soit de l'objet à l'œil (rayon lumineux); de plus quelques uns conçoivent la formation de l'image au fond de l'œil.

B. Stead et R. Osborne*, (7) par entretiens avec 36 élèves et questionnaires distribués à 379 enfants âgés de 9 à 16 ans, montrent dans l'une ou l'autre des investigations que peu d'enfants sont conscients de l'existence de la lumière et de sa propagation dans l'espace. La plupart des élèves admettent que la lumière reste au voisinage de la source qui l'émet.

Une publication (16-9-1981) de W. Jung (8) explore les conceptions des élèves (14-15 ans) sur la formation de l'image virtuelle avec

* Cité par Anderson page 23.

un miroir plan. La plupart des enfants évoquent la formation de l'image sur le miroir, une minorité qui considère que l'image est derrière le miroir n'accorde aucune importance aux lois de la réflexion pour construire cette image. Enfin certains élèves ayant fait des constructions géométriques montrant la formation de l'image derrière le miroir nient leurs propres explications en déclarant que c'est un phénomène apparent et que l'image ne peut pas se former là où la construction le montre; de ces informations il ressort que les enfants ne sont pas en mesure d'analyser correctement la vision de l'image virtuelle.

Très récemment F. Goldberg et L. McDermott(9) ont interrogé en entretiens individuels des étudiants du premier cycle universitaire sur la formation des images virtuelles par le miroir plan et celle des images réelles par les lentilles minces convergentes. Deux groupes d'environ trente élèves ont été interrogés, l'un n'ayant suivi aucun cours d'optique géométrique à l'université, contrairement à l'autre. Dans les deux groupes les réponses spontanées sont analogues et pour la plupart erronées, mais dans le second les élèves parviennent à corriger leurs erreurs quand l'investigateur les incite à utiliser leurs connaissances scolaires. Le principal résultat pour les miroirs est que, pour beaucoup d'étudiants (50 et 31 %)*, la position de l'image virtuelle d'un objet dépend de l'observateur. Quant aux lentilles simples les résultats sont les suivants pour une large proportion d'étudiants (58 et 41 %)* :

- On peut supprimer la lentille qui forme l'image d'un objet sur un écran sans pour autant supprimer l'image: celle-ci est simplement redressée. Il semble que la lentille, dans ces conditions n'ait d'autres fonctions que d'inverser l'image.

- L'écran reçoit l'image indépendamment de sa position .

- Il n'est pas possible de voir directement à l'œil une image réelle.

Autrement dit une image réelle ne peut pas flotter dans l'espace . Elle doit, pour être vue, se matérialiser sur un objet, la lentille

* Pour l'un et l'autre de deux groupes respectivement.

elle-même ou un écran.

5) Thèmes spécifiques abordés dans l'étude et plan d'ensemble du document.

Rappelons l'objectif général de cette thèse: explorer certaines difficultés de l'optique géométrique de façon à favoriser chez les professeurs et les élèves une prise de conscience à leur propos et à contribuer à une réflexion sur les objectifs d'enseignement de cette matière. Il nous reste à préciser plus finement les thèmes que nous choisissons d'étudier et les outils de travail que nous comptons élaborer.

Les thèmes spécifiques de l'étude ont été déterminés à la fois par le programme de la classe de première et par les recherches déjà effectuées dans ce domaine. La plupart des rapports de recherche que nous avons cités précédemment se centrent sur les notions générales de lumière et de vision plutôt que sur celle, plus élaborée et plus détaillée, d'image optique. Presque toutes ces recherches ont montré qu'à partir de 14 ans l'enfant commence à concevoir la lumière comme entité existant en elle-même, possédant des propriétés intrinsèques, pouvant remplir l'espace et se propager jusqu'à l'infini. A partir de cet âge, et sans aucun apprentissage scolaire préalable, l'enfant devient capable d'associer lumière et vision.

En classe de première au Liban (16-17 ans) la lumière en tant que telle ne semble poser aucun problème et les enfants même avant enseignement savent très bien non seulement éblouir leurs camarades à l'aide d'un miroir judicieusement disposé par rapport au soleil, mais aussi interpréter l'événement en termes de rayons qui proviennent du soleil, changent de direction sur le miroir etc... La difficulté ne se centre plus sur le lien entre lumière et vision, au sens large, mais plutôt sur l'analyse détaillée de la vision en termes d'image optique. Ceci joint à une longue expérience dans l'enseignement de la classe de première nous a incité à centrer l'étude sur le mécanisme de la formation des images, y compris dans le cas de la vision. Quelques études (W. Jung

(8), L. McDermott (9) ont abordé la question des images formées par un miroir plan. Nous avons choisi de centrer notre travail sur les images formées par une lentille convergente de manière à situer le problème de la vision par rapport aux connaissances des élèves dans le domaine de l'optique "inerte" qui en est le plus proche. La chambre noire très couramment présentée comme une première approche du mécanisme de la formation des images sera l'objet d'une partie de notre étude.

A ce niveau conceptuel, il n'est guère possible de prédire simplement que les difficultés rencontrées seront celles que la connaissance commune oppose à l'enseignement de l'optique, selon un schéma interprétatif qui a bien servi ailleurs.

Sans doute l'expérience commune existe-t-elle en optique géométrique, celle des miroirs principalement, celle des lunettes, des loupes et des appareils photographiques. Mais il reste à montrer, spécialement dans le cas des lentilles, que cette expérience est suffisamment marquante et interprétée pour déterminer directement les réponses des élèves. Par ailleurs l'enseignement apporte des notions et des procédures qui n'ont pas d'équivalent direct dans la vie courante: distance focale, conjugaison, schéma canonique de construction, marche des faisceaux....

Rien de simple à attendre de ce point de vue. Il est probable que nous observerons les effets combinés de l'expérience commune et des apprentissages scolaires, ou encore ^{que} la "connaissance commune" se manifeste quelque fois directement, d'autre fois à travers la façon dont les élèves auront réinterprété ce qu'ils ont appris à l'école. Enfin il faut accepter de ne pas donner à toute distorsion du savoir scolaire le statut de manifestation d'une connaissance commune.

Les phases exploratoires successives qui ont marqué le début de cette étude (cf. paragraphe suivant) nous ont amené à focaliser encore un peu celle-ci, notamment à la suite de la découverte, fortuite il faut l'avouer, d'une relation établie par certains élèves entre netteté et luminosité. Le choix final de nos thèmes d'étude est le suivant; il s'identifie avec le plan d'ensemble du corps de ce document:

* L'image optique:

- principe de la correspondance "point" à "point" entre objet et "image" dans le cas d'une chambre noire et d'une lentille mince convergente: qu'en est-il pour les élèves?
- Les schémas dans ces deux dispositifs optiques: productions et modes de lecture des élèves, en particulier dans le cas des faisceaux provenant d'un objet situé à l'infini.
- Relation entre netteté et luminosité dans les cas suivants:
 - image fournie par une lentille mince convergente sur un écran.
 - vision directe d'un objet.

Jusqu'où va, pour les élèves, l'adhérence entre ces deux notions dont en principe l'une est de nature purement géométrique et l'autre met en œuvre des aspects énergétiques.

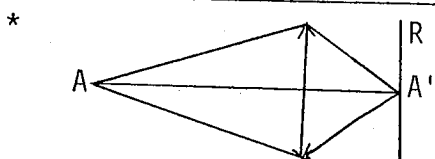
* La vision: L'œil en tant que système optique.

Les conceptions que les élèves ont sur ce point sont explorées sous l'angle suivant: comment analysent-ils le rôle de l'œil dans la vision des images, réelles ou virtuelles, fournies par un système optique. C'est donc la connexion de l'"optique inerte" avec l'"optique vivante" (déjà un peu abordée dans le thème précédent) qui est mise en cause ici.

Nous espérons, par ce biais, évaluer dans quelle mesure ce que les élèves ont appris sur la vision (directe) des objets, schéma traditionnel* à l'appui, correspond une compréhension "intégrée" du phénomène. Autrement dit dans quelle mesure leurs conceptions respectives de la vision et de l'optique géométrique sont "homogènes".

6) Méthodologie: Les questionnaires

Nous avons choisi de conduire cette étude exclusivement à l'aide de questionnaires écrits. Il convient de justifier ce choix compte tenu de



notre objectif et de nos contraintes.

Le questionnaire présente, en tant qu'outil de recherche, des avantages et des limites bien connues, fort complètement développés chez divers auteurs (A-Léon (10) GIGLIONE-MATALON (11), G. De Landshere (12)) et qui pour l'essentiel sont les suivants:

- il permet le recueil aisé d'un grand nombre de données.
- il conduit naturellement le chercheur à dégager des tendances générales ce qui confère aux résultats un certain caractère prédictif: d'autres chercheurs pourront les contrôler dans des conditions d'interrogation facilement reproductibles.
- En revanche il conduit les sujets à s'exprimer relativement brièvement, avec tous les risques d'interprétations abusives qui s'attachent à cette situation. Tout le problème de la construction des questionnaires est de limiter ces risques* et l'interprétation devra se fonder, dans la mesure du possible, sur des réponses à plusieurs questions. L'usage de questionnaires s'est révélé pour nous particulièrement indiqué. En effet:

* Le caractère exploratoire de ce travail, déjà souligné plus haut, nous a conduit à rechercher des éléments d'information sur un domaine conceptuel relativement large: on le sait, l'affinement des thèmes de recherche est toujours le produit d'une certaine maturation du domaine étudié.

De la première génération de nos questionnaires (20 questions, environ 50 élèves)^{par question} à ceux qui sont présentés dans cette étude, les essais ont été d'autant plus nombreux. Dans le contexte libanais (surtout à Beyrouth) tout particulièrement seuls des questionnaires écrits présentés à des classes différentes permettaient cette exploration.

- De plus notre but est d'aboutir à des résultats relativement démonstratifs en ce sens que des maîtres inter-essés pourraient eux-mêmes

* Voir en particulier sur ce point la thèse de 3ème cycle de J.L.CLOSSET.. L.D.P.E.S PARIS VII 1983. (13)

tenter de les contrôler et de les utiliser , pour avertir leurs élèves d'une difficulté. De ce point de vue le questionnaire se révèle non seulement un moyen de recherche mais surtout un produit dont la forme est imposée par l'usage auquel on le destine, celui d'un outil pédagogique; il s'envoie par la poste et sera d'autant meilleur que ses résultats se passent de commentaire.

Cela dit notre objectif ne se borne pas à établir une collection de question-réponses plus ou moins surprenantes mais sans lien les uns avec les autres. Aussi bien du point de vue de l'interprétation (des résultats de recherche), qu'il convient de garantir que du point de vue de la démonstration (en situation d'enseignement), qui doit éviter d'être simplement anecdotique, il nous semble souhaitable de définir des familles de questionnaires rattachées chacune à un type de difficulté ou à un mode de raisonnement. De façon générale le fait de voir apparaître la même difficulté ou le même type de commentaire à propos de deux questions différentes par bien des aspects nous semble significatif autant sinon plus qu'un taux élevé de réponses à une question isolée.

La définition de nos sous-thèmes d'étude correspond à cet effort de regroupement et de focalisation des questions. Elle s'est faite à la suite d'une première génération de questionnaires. Deux autres séries de questions successivement modifiées (ou supprimées) ont suivi. Seules les questions finalement retenues figurent ici.

Nous l'avons dit nous nous attachons à ce que nos résultats aient un caractère quantitatif et prédictif. Pour autant, nous ne sommes pas en mesure d'avancer des effectifs interrogés considérables (entre 22 et 111 selon les questions), ni de faire le moindre traitement véritablement statistique des données. Ce sont donc des résultats indicatifs que l'on trouvera dans cette étude, et l'interprétation des fréquences observées se fera au niveau où un professeur dans sa classe pourrait la faire. Chaque fois que les résultats obtenus dans plusieurs classes pour une même question étaient analogues (fréquences égales à 15 % près) nous

les avons regroupés. Dans les rares cas d'écarts importants (supérieur à 15 %) nous avons présenté les résultats correspondants séparément.

Sauf mention contraire, tous les élèves interrogés sont des élèves de première libanais en fin d'année scolaire...

Abordons maintenant le corps de l'étude....

* * * * *

CHAPITRE I

La Chambre Noire.

La définition scolaire actuelle de "l'image optique" est toujours celle de Képler. L'idée centrale de cette définition est la correspondance point à point entre objet et image. On s'assure de celle-ci en étudiant la marche des faisceaux issus des points de l'objet et dont la convergence requiert que l'on satisfasse aux conditions de Gauss. Cette définition fait donc correspondre par le moyen d'une bijection l'ensemble des points de l'objet à l'ensemble des points de l'image. Cet aspect très mathématisé rend ponctuel (au sens mathématique) et unique le point image qui correspond à un point de l'objet (point conjugué) et réciproquement. Le physicien, un peu plus tolérant, accepte de faire correspondre à un point de l'objet une tâche-image à condition cependant que cette tâche ne dépasse pas certaines limites. A cette tolérance seront associés en particulier un certain déplacement de l'écran, l'objet étant fixé (latitude de mise au point) et/ou un certain déplacement de l'objet, l'écran étant fixé (profondeur du champ).. Néanmoins une idée reste attachée à l'image optique au sens de Képler: celle de localisation. Même imparfaite, l'image d'un objet donnée par un miroir, un dioptré, une lentille, est localisée dans l'espace.

Tel n'est pas le cas de "l'image" fournie par une chambre noire. Une correspondance de point à (petite) tâche entre objet et "image" permet à cette dernière d'avoir la forme de l'objet, mais il n'existe pas de position critique pour celle-ci. L'idée de correspondance est là, celle de convergence est évidemment absente.

Il peut donc sembler paradoxal de commencer une étude sur l'image optique par celle d'un dispositif qui n'est pas, au sens strict, un dispositif imageur.

ient
Li-
tif

e
s

on
t-

à
n
et

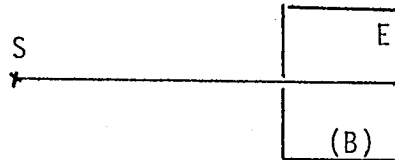
que

Les questions:

qI (B) est une boîte de carton percée d'un petit trou dans l'une de ces faces.

La face opposée est un verre dépoli.

a)



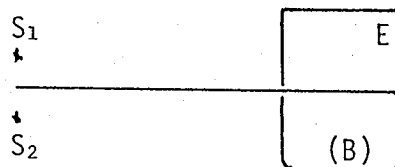
(S) est une source lumineuse ponctuelle.

* Que voit-on sur le verre dépoli?

* Est-ce une image ?..

Pourquoi ? ...

b)



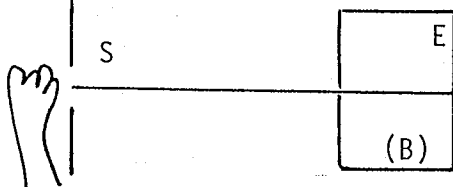
S₁ et S₂ ont deux sources lumineuses ponctuelles.

* Que voit-on sur le verre dépoli ?....

* Est-ce une image?....

Pourquoi ?....

c)



S est maintenant une ouverture assez large.

* Que voit-on sur le verre dépoli ?....

* Est-ce une image?....

Pourquoi ? ...

qII Decrivez tous les couples objet-images figurant sur les schémas ci-dessous en indiquant précisément la correspondance.

Ex: point X image du point Y.

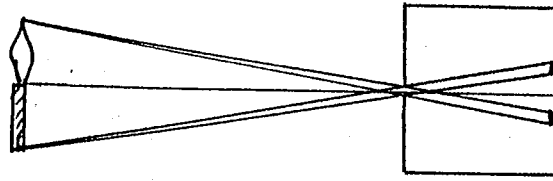
Segment LM image du segment NO.

Si les notations des figures proposées vous semblent insuffisantes vous pouvez en rajouter.

Si aucun couple objet image ne vous semble mis en évidence par la figure dites-le.

De toute façon justifiez ou commentez vos réponses.

Schéma dans qIIa



qIII) (B) est une boîte de carton percée d'un petit trou dans l'une de ses faces. La face opposée est un verre dépoli.

(S) est une ouverture de forme carrée assez large.

* Que voit-on sur le verre dépoli? : Carré ☐
Cercle ☐
Autre ☐

* Pourquoi:

* Est-ce une image?

Si oui, de quoi est-ce l'image?

Résultats:

Les résultats à la question sur l'existence de l'image dans les questions décrites plus-haut peuvent être groupés dans le tableau suivant:

q → Est-ce une image?	source ponctuelle		cas intermédiaire	source étendue		Les nomb- res sont exprimés en % du nombre total
	I _a	I _b		I _c	III	
Oui	90	84	92	72	70	
Non	10	14	0	19	15	
abstention	0	2	8	9	15	
Effectif	81	81	95	81	91	

Nous observons que les sources étendues présentées en qIc et qIII donnent lieu à un taux d'abstention plus élevé. Les autres situations provoquent une unanimité presque totale sur l'existence d'une image. C'est aussi le cas de la question IIa* qui présente pourtant une source étendue mais l'assortit d'une schématisation qui focalise l'attention sur deux de ses points.

Justifications sur l'existence d'une image:

La convergence des rayons, au sens strict défini plus-haut n'est pas apparu dans les commentaires recueillis ici, la seule évocation de convergence de plusieurs rayons est la suivante:

Et.9 qI_b *"Oui image car S₁ et S₂ donnent des rayons lumineux qui se convergent sur le fond".*

Nous voyons en revanche apparaître la convergence des rayons au sens de "Alhazen": parmi tous les rayons qui partent d'un point de l'objet et qui tombent sur le trou, un seul traverse ce trou et forme le point image.

Dans qI_a 32 % des étudiants interrogés ont raisonné avec un seul rayon, soit sur le schéma soit dans les justifications.

Et.11 qI_a *"Car le rayon passant par ce trou, se réfléchit en formant l'image de cet objet ponctuel".*

Nous pouvons attribuer cet effet au fait que le trou est très petit et que la source est ponctuelle.

Dans qIII 13 % des étudiants ont raisonné de la même manière et même plus explicitement.

Et.5 qIII *"L'extrémité supérieure du carré donne un rayon qui traverse l'ouverture et tombe sur le verre et de même l'extrémité inférieure alors c'est l'image renversée".*

La correspondance point à point de l'objet à l'image est bien présentée dans ce genre d'interprétations, mais c'est dans un sens éloigné de celui du physicien.

Une correspondance correcte point à tâche assimilable à un point et justifiée par un schéma a été évoqué par 18 % de la population de la qI.

* Deux passations d'effectifs respectifs 58 et 37 élèves.

Et.4 qI_{a,b} "On voit une tâche; comme l'ouverture est faible, cette tâche est assimilable à un point image, ainsi pour chaque point de l'objet".

Et.22 qI_b "On voit sur le fond deux tâches; chaque tâche est une image car plus l'ouverture est faible, chaque tâche est assimilable à un point, donc chaque tâche est une image".

Le reste des justifications données à la question: "Est-ce une image?" semblent plutôt associer une réponse positive à certains mots clefs.

Et.2 qI_a "Oui image car S est un objet"

36% des étudiants de la qI ont fourni presque la même phrase.

Et.5 qI "Oui image car on peut la recevoir sur un écran"

Et.8 qI "Oui image car le verre dépoli permet de voir"

32% ont fourni des phrases du même type, mentionnant "écran" ou "verre dépoli".

De façon plus générale le fait qu'à un point objet corresponde une petite tâche et non un point sur le fond de la boîte ne semble pas gêner les élèves ni appeler beaucoup de commentaires de leur part. En effet si nous dénombrons d'une part les élèves qui ont mentionné à la fois les mots "tâche" et "image" dans leurs commentaires, d'autre part ceux qui déclarent ces notions incompatibles, on obtient pour les questions I a,b,c les résultats suivants:

	I _a	I _b	I _c	
tâche et image compatible	88	78	74	Les chiffres sont exprimés en % du total
une tâche n'est pas une image	6	14	10	
Effectif	81	81	81	

- tableau 2 -

Les questions qIII et qII_a plus fermées que la qI se prêtent moins bien à une telle analyse de commentaires.

Dans ces questions qui mettent en jeu une chambre noire "classique" avec un petit trou, l'existence d'une "image" semble très généralement admise bien que très peu justifiée. Une telle existence est compatible pour les étudiants avec l'idée d'une correspondance point objet \longleftrightarrow tâche image.

Nous allons voir maintenant ce qu'il en est lorsque nous augmentons la taille du trou ou lorsque nous lui attribuons une forme carrée, ce qui, du même coup suggère des dimensions non négligeables.

b) Influence de la dimension et de la forme du diaphragme sur l'existence d'une image.

Deux questions nous fourniront quelques éléments sur ce point. Les voici:

qIV Avec une épingle on pratique un petit trou dans l'une des faces d'une boîte de carton.

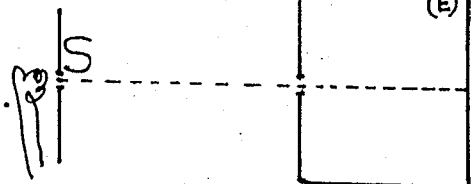
(S) est une source de lumière.

a) Que voit-on sur le fond de boîte?...

Interpretez la réponse:

b) Verrait-on la même chose si le trou était plus large?

Commentez:



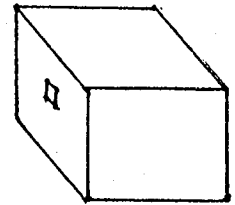
qV

a) Le diaphragme d'une chambre noire a la forme d'un petit carré. (S) est une source de lumière de forme circulaire pratiquée dans un écran E.

* Que voit-on sur le fond de la chambre noire?

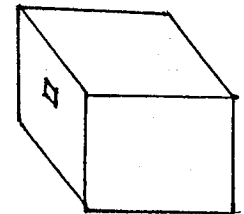
* Est-ce une image?...

Interpretez:



b) Pouvez-vous imaginer ce qu'on aura sur le fond si dans E on pratique un ensemble de trous circulaires formant la lettre L?...

* Interpretez la forme que vous avez dessiné:.....



c) Aura-t-on la même chose si on élargit le diaphragme?...

Le tableau (3) montre bien la perturbation introduite en qV_a par le fait que le diaphragme est un "petit carré". L'existence d'une forme remarquable, autant que le dessin lui-même, suggère une certaine extension: L'idée de trou circulaire est compatible avec celle de trou d'épingle un "carré" en revanche suppose qu'on puisse le reconnaître et donc qu'il ait une certaine surface. Nous garderons par la suite cette expression de "forme remarquable" entendant par là ce qui n'est pas circulaire .

Est-ce une image V_a	Pourcentage	
Oui	63	100 % du total
Non	28	
non précis	9	
tâche carré	34	36 % du total
tâche circulaire	2	
image de la source	15	63 % du total
image du diaphragme	17	
image seulement	19	
insignifiantes ou abstention	12	
Effectif	58	

- tableau 3 -

L'unanimité sur l'existence de l'image a disparu: seulement 63 % des élèves en conviennent, la moitié seulement d'entre eux esquissent une justification. Il semble que le carré impose sa forme à l'image, pour ceux qui précisent la forme de celle-ci, et qu'on ne sache plus très bien alors de quoi l'"image" est l'image, de la source ou du trou?

Nous y reviendrons.

Les justifications restent toujours très pauvres. On note cependant que 12 % des élèves à défaut d'évoquer une nécessité de convergence des faisceaux sur l'image, mentionnent l'absence de systèmes optiques pour justifier l'absence d'image:

Et.1 q V_a "Non, pas d'image parce que le faisceau lumineux ne traverse pas un système optique".

Et.10 q V_a "Non cette tâche n'est pas une image car l'image est donnée en présence d'un système optique".

Il est difficile de juger s'il s'agit d'une véritable compréhension de ce que fait un système optique ou d'une sorte de mot-clé supplémentaire.

Que se passe-t-il maintenant si on augmente explicitement la taille du diaphragme? .. C'est l'objet des questions IV b et V c;

Le tableau (4) en fournit les résultats:

q → verra-t-on la même chose si le trou est plus large	IV b	V c	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total.
Oui	23	23	
Non	48	36	
Non précis	29	41	
tâches sous différents aspects	52	18	
Image ou tâche-image	22	48	
Justifications incompréhensibles + abstentions	26	34	
Effectif	58	58	

- tableau 4 -

On y remarque la proportion relativement faible (moins de 50 %) d'élèves qui répondent que l'on ne verra plus "la même chose"; Ici il faut noter que cette dernière expression peut sans doute prendre chez les élèves un sens très vague, un carré flou et un carré net par exemple, peuvent être vraisemblablement "la même chose" pour certains.

Très peu d'élèves justifient la différence observée, ainsi en q IVb:

Et.6 IVb *"Si le trou est plus grand alors il y a une grande quantité de lumière qui entre dans la boîte, cette quantité de lumière fait parasite sur l'image dont on obtient une tâche".*

Et.36 qIVb *"Si le trou s'élargit, il laisse passer plusieurs rayons de chaque point de S, il se forme plusieurs images qui forment une image floue".*

L'extension et la forme de la source apparaissent comme des facteurs déterminants dans la comparaison des q IVb et q Vc. Dans cette dernière question où la forme en L de l'objet est très marquante, 48 % des élèves parlent spontanément "d'image" et 18 % de "tâche", alors que ces proportions s'inversent en q IVb (22 % et 52 % respectivement).

L'idée d'image semble donc assez largement associée à l'idée de reconnaissance de forme, et les prévisions des élèves dans ce domaine assez raisonnables pour une moitié d'entre eux, tandis que incertitude et flou dominent chez les autres.

Le paragraphe suivant nous amènera cependant à constater que les problèmes de reconnaissance de formes font aussi parfois surgir des conflits.

2) La forme de l'image:

Revenant sur les questions précédentes nous y avons relevé ce qui concerne la forme de l'image dans le tableau (5).

Dans cette analyse nous avons catégorisé chaque question selon que la source d'une part, le diaphragme de l'autre a une forme remarquable (non circulaire) ou non:

	qN ² →	V a	III	IV a	V b	
Le trou a une forme remarquable		Oui	Non	Non	Oui	Les chiffres sont exprimés : en % du nombre total
La source a une forme remarquable		Non	Oui	Non	Oui	
L'image a même forme que le trou		16	12	4	5	
L'image a même forme que la source		18	50	17	55	
Image sans préciser		19	5	5	0	
La lumière prend la forme du trou quelque soit la source		16	18	23	19	cette ligne ne fait pas partie du %
ne parlent pas d'image ou abstention		47	33	79	40	
Effectif		58	91	58	58	

On observe sur ce tableau que lorsque la source a une forme remarquable (q III et Vb), l'image est majoritairement mentionnée comme de même forme (50 et 55 %) respectivement, ce qui n'est le cas ni en q Va ni en q IVa.

En q Vb, où 55 % des étudiants ont dit que l'on voyait un L, les commentaires sont très nets.

Et.20 qVb *"On verra de chaque trou un autre qui est l'image de lui, on obtient l'image L renversée".*

Et.43 qVb *"Sur le fond de la chambre noire nous obtenons une image de L".*

De même en qIII

Et.1 qIII *"Carré, car le verre dépoli me donne la forme de l'objet et l'objet est carré".*

Cependant ces questions ne sont pas sans susciter quelques problèmes: 5 % des étudiants en qVb, 12 % en qIII, déclarent que l'image a la forme du diaphragme.

Et.14 qVb *"Les rayons lumineux qui partent à travers le trou frappent la face où se trouve le trou et l'ensemble des rayons qui passent forme un carré lumineux".*

Et.11 qIII *"Un cercle car la lumière prend la forme du trou."*

Et.16 qIII *"Un cercle car l'ouverture dans B est un cercle".*

Plus symptomatiques encore sont les commentaires à la qIII qui tentent de concilier la forme de la source et celle du diaphragme.

Et.2 qIII *"D'abord on voit une image définitive sur le verre dépoli de forme circulaire car en traversant le carré les rayons vont tomber en forme carré sur l'écran".*

Et.3 qIII *"Les rayons qui entrent prennent le rôle d'un cercle, mais en contact du verre dépoli, il se forme un carré".*

- Et.8 qIII *"En traversant le trou, on aura un cercle, dans ce cercle il y a un carré, le cercle est virtuel, le carré est réel, donc un carré".*
- Et.22 qIII *"Car l'ouverture est assez large, alors on voit le carré comme un cercle et car la lumière est faible".*
- Et.30 qIII *"Un cercle car les rayons peuvent ne pas pénétrer normalement à la face percée, bien non! pas d'image".*

Le débat entre les deux formes disperse les justifications.

Trois étudiants (Et.2,3,8) conservent un compromis le plus loin possible pour finalement en extraire un carré, l'Et.22 se retranche derrière la faiblesse de la lumière pour voir "le carré comme un cercle" le dernier baisse les bras: "pas d'image".

Le conflit, on le voit, peut aboutir à remettre en question l'existence même de l'image, comme nous l'avons suggéré à propos de la question V_a . Dans cette question en effet le diaphragme devient l'élément prédominant du point de vue de la forme. L'idée que "la lumière prend la forme du trou", un peu à la manière d'une pâte dentifrice* à la sortie du tube, y est évidemment encore plus présente que dans les questions précédentes.

- Et.II V_a *"On voit un petit carré car la lumière entre suivant un petit carré que son image se forme sur le fond de la chambre noire".*
- Et.9 V_a *"L'image ici prend la forme de la fente mais n'est pas la forme de la source".*
- Et.31 V_a *"Les rayons passant par le diaphragme donne une image en forme carrée et dont les dimensions sont proportionnelles aux dimensions du diaphragme".*

* "pâte dentifrice" remarquons que cette modalité: "la lumière prend la forme du trou" apparaît encore à raison de 23 % dans la qIV (la plus neutre du point de vue des formes, puisque ni la source, ni le trou n'ont de forme remarquable).

Et.13 V_a "Oui l'image du diaphragme qui a la forme d'un carré"

Et.40 V_a "On voit que l'image de la source S se trouve dans la chambre noire sous forme d'un carré".

Ces commentaires manifestent bien le problème associé à une prédominance du diaphragme dans la forme obtenue sur l'écran: celle-ci peut-elle être l'image de la source puisqu'elle n'a pas la même forme? Si oui, de quoi est-ce l'image? de la source? du diaphragme? de la lumière?

Il nous reste à vérifier dans quelle mesure les élèves se préoccupent de cette question et se satisfont éventuellement de l'idée que l'on obtient, l'image d'autre chose que la source.

3) Image de quoi?

Le tableau (6) qui donne nos résultats sur ce point comprend deux groupes de questions. Les six premières colonnes concernent des questions où l'on ne demandait pas explicitement à l'étudiant de se prononcer sur l'objet auquel correspondait l'image éventuelle: les précisions mentionnées sur ce point furent donc spontanées. Les deux dernières colonnes précisent le taux de réponses à des questions explicites: "Qu'observe-t-on .., est-ce une image?... si oui de quoi?

Chaque groupe de questions comprend au moins une question "sans problème" du point de vue de l'existence de l'image (ex.qI_a: 90 %, qII_a: 92 %) et une question plus controversée de ce point de vue (qV_a 63 %, q III 75 %)

Image de : $q \rightarrow$	V _a	V _b	IV _a	I _a	I _b	I _c	III	II _a	
La source	18	55	12	34	36	36	40	92	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total
Le diaphragme	16	5	4	3	1	5	15	0	
Non spécifiée	19	0	5	63	47	31	15	0	
Total "existe image"	63	60	21	90	84	72	70	92	
Effectif	58	58	58	81	81	81	91	95	

- tableau 6 -

Les suggestions des étudiants se répartissent entre "image de la source" et "image du diaphragme". On observe qu'en l'absence de la question explicite "Si oui, image de quoi", le plus fort taux de réponses "non spécifiées" sont associées aux questions "sans problèmes" du point de vue de l'existence de l'image (I_a, b), alors que les questions V_a, b provoquent à la fois moins d'abstentions et des spécifications plus dispersées: très peu d'étudiants en qI considère que l'image est celle du diaphragme alors qu'en question V_a la moitié des spécifications sont du type: "image du diaphragme".

C'est, bien sûr, le conflit de formes commentées plus-haut qui motive les réponses en q V_a et l'on note au passage que si ce conflit a retenu certains de conclure à l'existence d'une image, il en a conduit d'autres à garder l'idée d'image mais en changeant d'objet. Ce commentaire illustre bien à la fois le conflit et le virement.

Et.46 qV_a *"La source lumineuse joue le rôle d'un objet réel par rapport au diaphragme qui va donner une image, le diaphragme carré est un objet dans lequel passe la lumière, on observe sur l'écran l'image de ce carré".*

Les questions directives qIII et qII_a donnent lieu au même type de comparaison, sinon que cette fois les non spécifications sont des refus de réponses (15 % en qIII) et correspondent à la questions la plus difficile qIII. C'est aussi cette question qui donne lieu à quelques rares

réponses du type "image du trou" et surtout à ces commentaires torturés cités plus-haut. La question I Ia apparaît au contraire comme d'un classicisme excluant toute ambiguïté et tout problème: la source s'impose comme objet, avec sa forme étendue et son identité physique palpable.

Avant de conclure sur cette partie de notre travail, notons un détail intéressant sur lequel nous reviendrons: le tiers des étudiants qui ont dit "image de la source" en qI_b (ces derniers sont 45 % du total) ont attribué à un objet discontinu (S_1 et S_2) une image continue ($S'_1S'_2$).

Et.6 qI_b "On observe une tâche blanche qui est l'image de S_1S_2 "

Et.11 qI_b "Une tâche image renversée $S'_1S'_2$ ".

Nous reprenons plus en détail cette association un peu plus loin.

Récapitulation

Les premiers éléments à retenir de cette étude sur l'existence d'une "image" en chambre noire sont les suivants:

- * Lorsque la situation présentée est très classique-source étendue pourvue d'une forme caractérisée - petit trou- L'existence de l'"image" est unanimement admise.

- * Le mécanisme de formation de l'"image", pour beaucoup d'élèves n'est pas maîtrisé.

- * Il semble que l'existence d'une image soit souvent une sorte de réponse à un mot clé: écran, verre dépoli, objet, système optiqueetc.

- * L'attribution d'une forme au diaphragme suscite des conflits mal analysés. L'une des solutions consiste à laisser dans le flou la question "image... de quoi?" Une autre est de conclure à l'absence d'image.

- * Certains élèves semblent mal discriminer l'image de deux points S_1 et S_2 et l'image d'une source étendue limitée par ces points.

L'analyse des schémas produits par les élèves vient maintenant préciser ces premiers éléments.

4) Production des schémas pour les chambres noires

Une des difficultés majeures en optique est le tracé des rayons et des faisceaux lumineux. La réalisation complète et correcte d'un schéma surtout si le système optique est un peu complexe, ne se manifeste que rarement dans les contrôles.

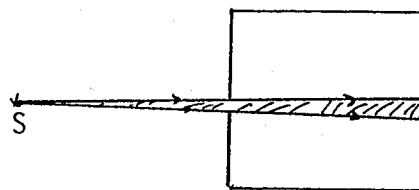
Ce tracé accompagne d'habitude tout calcul pour trouver la position de l'image donnée par un système optique. Le schéma constitue dans ces conditions un élément fondamental dans l'enseignement de l'optique. Ceci contribue à ce que les élèves interrogés aient souvent fourni spontanément des schémas pour justifier leur réponse, ce qui n'était pas explicitement demandé.

Pour mettre en évidence les types de schémas produits pour les chambres noires, reprenons d'abord les questions: V, IV, I, III qui traitent ces dispositifs.

De ces questions émanent plusieurs modalités de schémas. Nous allons les discuter en mettant l'accent sur les plus fréquents:

* Les partisans de la première modalité notée dans la suite (sch.1) ont tendance à "projeter la lumière à travers le trou" à "remplir ce trou" ou à former "une ombre" au fond de la chambre noire. Les étudiants accompagnent leurs productions par les commentaires suivants:

Et.2 qIV *"Un faisceau de lumière passe par le trou et prend la forme d'un cône qui se projette suivant un cercle sur le fond".*



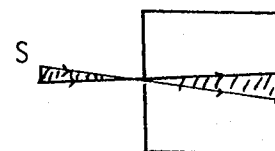
Sch.1

Et.10 qIV *"On voit une tâche lumineuse qui a la forme du trou mais agrandi".*

Et.48 qI_b "S₁ objet ponctuel, il donne sur l'écran une ombre, de même pour S₂".

La deuxième modalité (sch.2) fait converger le faisceau au niveau du trou.

Les justifications fournies par les élèves consistent pour la plupart à expliciter le schéma:



Sch.2

Et.1 qIV "puisque le trou est petit, il est le sommet de deux faisceaux, l'un convergent et l'autre divergent, ces deux faisceaux sont opposés par le sommet".

Et.8 qIV "On voit une tâche lumineuse qui est la base d'un tronc de cône opposé au cône de sommet O et appuyant sur S".

Et.48 qIV "à travers le trou on voit deux cônes de lumière".

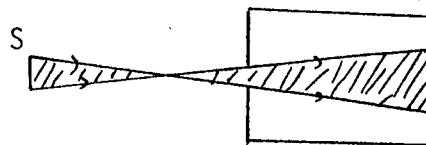
Il existe aussi un schéma limite participant de ces deux premières modalités, c'est le schéma à un seul rayon:

Et.4 qIV "Une source ponctuelle donne un rayon* parallèle qui attaque la face opposée de la boîte".

Et.11 qIV "On voit une petite tâche lumineuse parce qu'un rayon* entre dans la boîte et le fond de la boîte se comporte comme un écran qui reçoit le rayon de lumière".

Et.16 qIV "On voit un rayon* lumineux qui entre dans la boîte parce que le trou ne permet de passer qu'un seul rayon".

En fait un effort de conciliation des schémas 1 et 2 peut aussi aboutir à en fabriquer un troisième (sch.3)



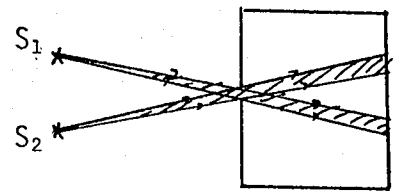
Sch.3

* C'est nous qui soulignons.

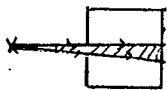
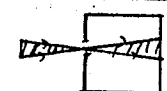
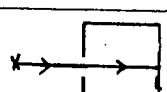


Les commentaires qui accompagnent ce schéma rejoignent ceux qu'on a cités pour les sch. 1 et 2. Ce schéma 3 a, en commun avec le sch. 2 la propriété de prendre en compte l'ensemble de l'objet et l'ensemble de l'image, et en commun avec le schéma (1) la propriété de "remplir le trou" .

Ce jeu de cônes apparait reconcilié dans la solution correcte à la $q I_b$ (Sch.4), solution qui, en fait, amorce la compréhension d'un point délicat: le passage du discontinu (correspondance point à point) au continu (correspondance globale objet-image).

Et.19 $q I_b$ *"Comme l'ouverture est faible
cette tâche ressemble à un
point image sur le verre
l'ensemble de ces points
forme l'image de $S_1 S_2$ "*



Les différentes modalités pour les schémas évoqués par les étudiants dans les questions sur la chambre noire peuvent être groupées dans le tableau (7).

Schéma $q \rightarrow$	V_a	V_b	IV	I_a	I_b	I_c	III	
 Sch.1	16	9	12	27	0	0	2	Les chiffres sont exprimés e % du total
 Sch.2	2	24	16	1	25	12	3	
 Sch.1 limite	4	5	9	34	1	6	5	
 Sch.3	0	0	17	17	34	40	14	
 Sch.4	0	0	0	0	29	13	1	
pas de schémas et autres cas	76	60	48	21	11	29	75	
Effectif	58	58	58	81	111	81	91	

- tableau 7 -

Le facteur décisif pour le choix de l'un ou l'autre des (sch.1) et (sch.2) est probablement la taille du trou relativement à celle de la source. Ainsi la qV_a est favorable à (Sch.1): 16 % comparé à 2 % pour (sch.2) bien qu'approximativement de même taille que la source, le diaphragme par sa forme remarquable carrée, conduit préférentiellement à une schématisation de type projective, correspondant graphique du commentaire "la lumière prend la forme du trou".

Les question I_a et surtout IV sont les moins nettes en matière de tailles relatives de la source et du trou, celles-ci étant faibles l'une et l'autre. C'est là que le schéma limite à 1 rayon apparaît le plus fréquemment (34 et 9 % respectivement) comme on pouvait s'y attendre .

Pour le reste, les réponses se partagent entre le sch.1 (projectif) et le schéma 2 (global) ou le sch.3, conciliation de deux précédents . C'est ce dernier schéma qui est le plus fréquent en q IV (30 % de ceux qui font un schéma). Il apparaît encore avec une fréquence surprenante (17 % du total) en qI_a où pourtant la source est explicitement décrite comme ponctuelle.

Les trois dernières questions du tableau, $I_{b,c}$ et III mettent en jeu des dimensions, du côté de la source, nettement supérieure à celles du diaphragme. Outre le schéma correct (sch.4) sur lequel nous reviendrons, on observe essentiellement les deux solutions globales: le schéma 2 et surtout le schéma "de conciliation" 3. La $qIII$ semble avoir découragé le dessin de schémas sans doute à cause du carré en perspective , mais les qI_b et surtout qI_c sont celles qui parmi toutes nos questions provoquent les plus grandes fréquences, 34 % et 40 % du total respectivement , de schémas 3. Ces taux surprenants d'apparition des sch.2 et surtout 3, y compris en qI_b , nous ont conduit à effectuer un contrôle dans le but d'évaluer dans quelle mesure les dessins fournis par nous dans cette question ($\begin{smallmatrix} S_1 \times \\ S_2 \times \end{smallmatrix}$) ne suggéreraient pas de façon purement visuelle une source continue. 30 élèves ont donc été interrogés oralement sur "ce qui peut se passer au fond de la chambre noire, si devant cette chambre on met deux sources ponctuelles S_1 et S_2 ".

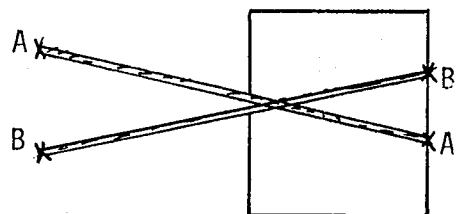
Les résultats de ce questionnaire furent très comparables à ceux de la première passation, à tous points de vue, en particulier pour les schémas qui ont donc été fournis spontanément. Nous avons donc regroupés ces derniers résultats avec les autres dans le tableau (7).

Cette "globalisation" graphique de l'ensemble de 2 sources ponctuelles en une source continue est à rapprocher de ce que nous avons signalé plus haut pour cette même question I_b , dans notre paragraphe, "image de quoi?": le tiers des étudiants qui ont conclu à l'existence sur l'écran d'une image de la source font correspondre à cet objet (discontinu) une image continue:

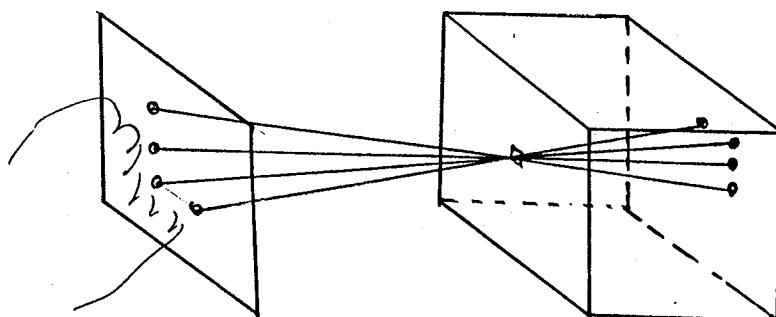
Et.6 qI_b "On observe une tâche blanche qui est l'image de S_1S_2 "

Avant d'examiner les solutions graphiques correctes, signalons encore un exemple qui est un vrai chef-d'œuvre de compromis entre une vision ponctuelle ou globale de la source, et entre les solutions globales sch2 et sch 3.

Et.32. qI_b "On voit une tâche blanche de lumière, c'est à cause de la réflexion, c'est une image réelle renversée car elle est reçue sur un écran, c'est une image formée de deux points comme la source."



Beaucoup moins caricatural mais relativement ambigu aussi est le schéma suivant fourni pour la question V_b et classé dans le tableau (7) dans la rubrique (sch.2):



Ce classement est discutable car on peut voir là une heureuse conciliation d'une correspondance point à point entre objet et image et d'une vision globale. Remarquons pourtant que la correspondance ponctuelle dans une telle hypothèse, serait du type "limite" à un seul rayon, qui pour la même population apparaît fort peu dans le cas d'un seul point source. Plus vraisemblablement il s'agit d'associer un "L" à un "L" renversé dans la plus classique mais aussi la moins comprise des schématisations. L'absence de réponse graphique correcte à cette question confirme le doute.

Enfin la solution graphique complète conciliant effectivement visions locale et globale, sch.1 et sch.2, apparaît essentiellement en qI_b (25%). C'est aussi là que la source suggère une étendue géométrique tout en gardant un caractère nettement discontinu. Dans les qI_c , III et même V_b (respectivement 13 %, 1 % et 0 % de réponses complètes), le caractère continu et/ou la forme remarquable de la source favorise la vision globale et balaye l'aspect ponctuel.

Récapitulation sur les schémas dans les chambres noires.

De ce bref aperçu sur les productions de schémas à propos de chambres noires, il ressort que le mécanisme de la production de l'"image" n'est absolument pas dominé par cette population d'élèves.

Il faut noter qu'il y a une réelle difficulté dans la conciliation du point de vue local (correspondance point \longleftrightarrow tâche image) et du point de vue global (correspondance objet \longleftrightarrow image).

La fréquence de schémas inventés de toutes pièces et traduisant un effort en vue d'une telle conciliation (schéma 3) montre bien la difficulté et suggère que les élèves ont été laissés à eux mêmes pour la résoudre.

Dans leurs tentatives, les tailles respectives de la source et du diaphragme, ainsi que leurs formes, affectent considérablement le type de schéma. fourni.

Conclusion sur les chambres noires

Ce qui vient d'être dit sur les schémas produits par les élèves rejoint ce qui ressort de leur commentaires: difficulté pour maîtriser les deux types de correspondance impliqués (locale et globale) et le passage du discontinu au continu. Semble-t-il laissés à eux-mêmes devant ce problème, les élèves imaginent diverses solutions très marquées par des prédominances de forme...

On peut se demander si la simplicité du dispositif de la chambre noire ne masque pas la difficulté conceptuelle sous-jacente et s'il est bien judicieux de faire, comme c'est souvent le cas, l'économie d'une analyse détaillée de la formation de l'"image". Cela permettrait de souligner au passage ce qui n'est apparu nulle part dans les réponses des étudiants: pour ce type d'"image", il n'y a pas de position critique.

* * * * *

CHAPITRE II

Image donnée par une lentille mince convergente.

1) Couples objet-image dans la schématisation classique.

L'idée dans l'étude qui suit restera la même que pour les chambres noires: évaluer jusqu'où va le niveau de compréhension des élèves devant des questions proches des exercices classiques et pourtant moins stéréotypées. On sait à quels types d'exercices sont habituées les élèves: Trouver la position, la taille de l'image d'un objet dans tel ou tel système optique, schéma de construction à l'appui, assorti d'un schéma des faisceaux optiques.

Ce sont les exercices classiques du baccalauréat qui peuvent d'ailleurs atteindre un certain niveau de complexité*.

Notre objectif ici est essentiellement d'évaluer dans quelle mesure la nature de la correspondance objet-image est comprise par ces mêmes élèves qui résolvent raisonnablement bien les exercices classiques.

Nous avons tout d'abord voulu savoir, en reprenant une idée de F.Goldberg et L.Mac Dermott(9), dans quelle mesure la nécessité même d'un système optique pour la formation d'une image était ressentie par les élèves.

Nous avons ainsi posé deux questions inspirées du travail de F.Goldberg et L.Mac Dermott et nous comparerons nos résultats avec ceux qui concernent leur second groupe dont la population est analogue à la nôtre.

Dans une première classe d'effectif 31 élèves nous avons posé la même question que L.Mac Dermott soit:

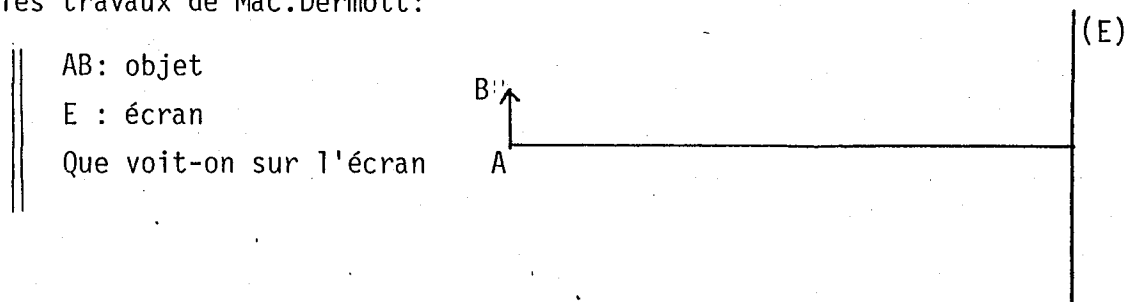
* Voir exercices classiques en annexe II.

S

8

l'image. Pas un seul n'a parlé de la nécessité d'un système optique pour avoir une image, même parmi ceux qui ont dit qu'il n'y a plus d'image.

Dans une autre classe d'effectif 28 élèves nous ^{avons} posé à titre de contrôle, la question suivante, qui, d'ailleurs n'a pas d'équivalent dans les travaux de Mac.Dermott:



L'idée est ici de vérifier si la mention préalable d'une lentille dans les questions précédentes influence ou non les réponses.

Groupons les résultats relatifs à cette question dans le tableau (2):

Il y a une image	46	en % du nombre total .
Pas d'image	42	
dont: pas de système optique	14	
abstention	12 %	
Effectif	28	

- tableau 2 -

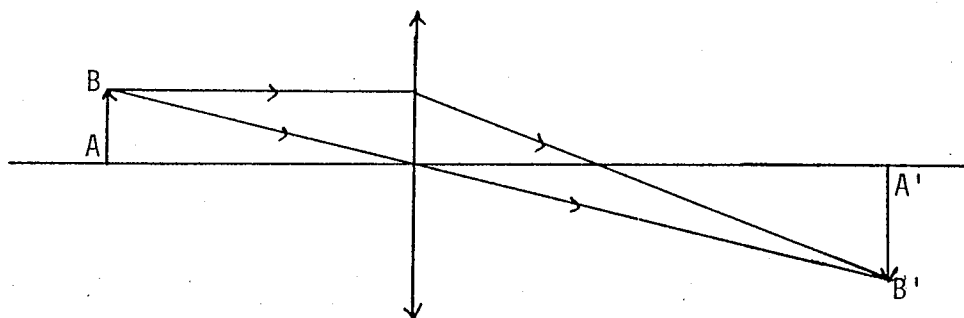
Les résultats rejoignent ceux de la question précédente sinon que 14 % des étudiants attribuent l'absence de l'image à la nécessité non satisfaite ici d'un système optique.

Les résultats de ces questions nous paraissent tout à fait remarquables dans la mesure où ils concernent des élèves capables de résoudre des exercices relativement élaborés de calcul de positions d'image: le principe même de la formation de l'image, en cause ici, semble absent de leurs connaissances sinon de leurs préoccupations.

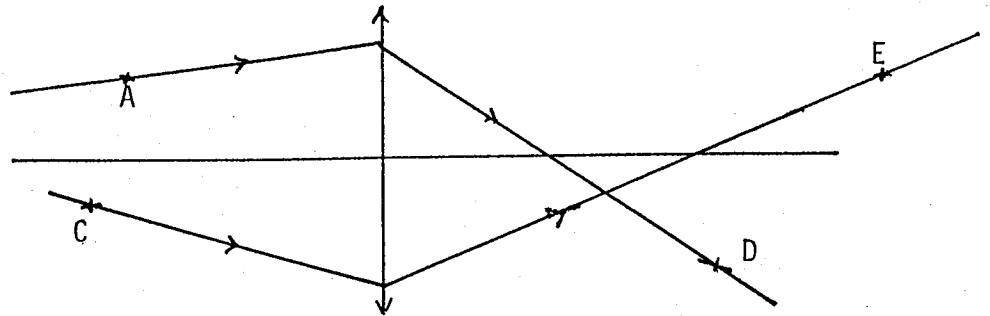
Les questions qui suivent visent à explorer ce point avec plus de détail: Nous analysons ici des items d'une question déjà présentée à propos des chambres noires.

- qII Rappelons le texte de la question 2 et notons ces deux items:
- * Décrivez tous les couples objets-images figurant sur les schémas ci-dessous en indiquant précisément les correspondances:
Ex: point X image du point Y.
segment LN image du segment NO.
- Si les notations des figures vous semblent insuffisantes vous pouvez en rajouter.
- Si aucun couple objet-image ne vous semble mis en évidence par la figure, dites-le...
- De toutes façons justifiez ou commentez vos réponses:

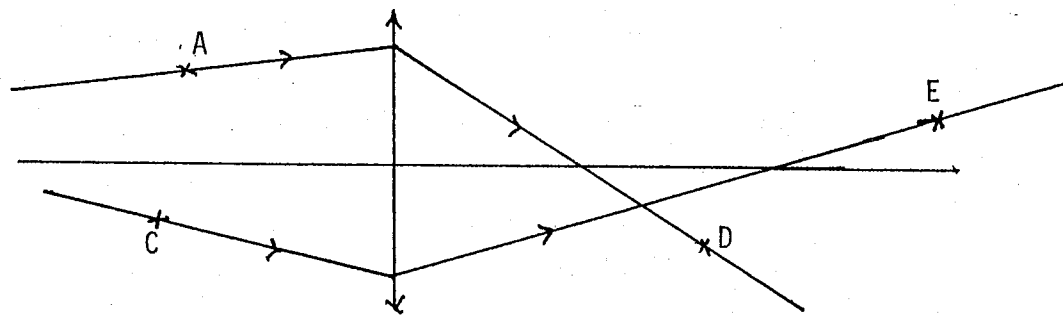
qIIb



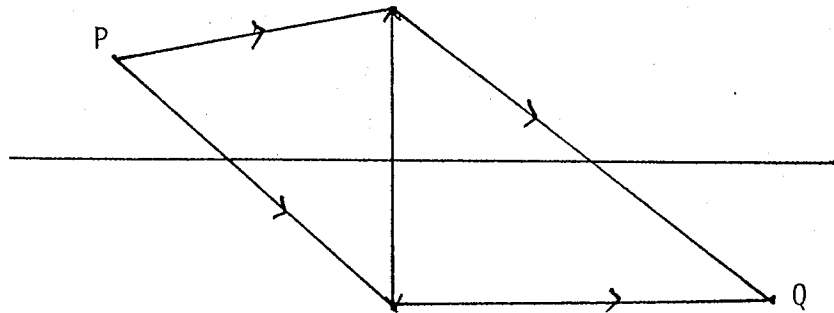
$qIIc_1$



$qIIc_2$



$qIId$



Il importe de noter la différence entre $qIIc_1$ et $qIIc_2$: dans $qIIc_1$ (A,D) et (C,E) sont des couples conjugués, la réponse correcte sera "oui". Dans $qIIc_2$ par contre (A et D) d'une part, (C et E) d'autre part ne sont pas conjugués la réponse correcte sera "Non".

a- Correspondance point à point. Il faut deux rayons.

Dans la qIIb les étudiants ont reconnu facilement le cas classique de l'objet droit ayant le pied sur l'axe principal, ils mentionnent globalement la correspondance entre (AB) et (CD) dans une proportion relativement très élevée (86 %)* vis-à-vis de celle (41 %) des élèves qui mentionnent également la correspondance point à point (A et D) puis (B et C).

Dans la qIIId 90 % des étudiants ont vu la correspondance entre P et Q sans doute du seul fait qu'il existe deux rayons: très peu nombreux sont ceux qui mentionnent que P et Q s'alignent effectivement avec le centre optique de la lentille. S'agit-il d'une confiance sans question dans les données du schéma ou bien la vérification a-t-elle été faite mais non mentionnée, il est difficile de le dire. Toujours est-il que dans cette question comme dans la précédente où l'élève se retrouve dans la situation familière à deux rayons (et deux seulement !), la réussite est presque totale.

La situation est plus délicate dans la qIIc où dans l'une ou l'autre des deux versions on a donné à l'élève un schéma avec un seul rayon par point objet. Les élèves sentent-ils la nécessité de tracer un deuxième rayon et si oui comment s'y prennent-ils? C'est à quoi nous allons essayer de répondre en groupant les résultats relatifs aux deux versions dans le tableau (3)

* Deux passations d'effectif total 95 étudiants.

information	question	IIc ₁		IIc ₂	
D est l'image de A	Oui +	27	56	5	5
	Oui -	29		0	
	Non +	4	20	33	49
	Non -	16		16	
E est l'image de C	Oui +	19	50	5	5
	Oui -	31		0	
	Non +	9	25	30	46
	Non -	16		16	
Pas d'image	+	11	39	3	19
	-	28		16	
Un seul rayon ne suffit pas		17		14	
total des +		38		38	
abstentions		4		33	
Effectif		58		37	
Les chiffres sont exprimés en % du nombre total					
codage $\left\{ \begin{array}{l} + \text{ avec construction du second rayon} \\ - \text{ sans construction du second rayon} \end{array} \right.$					

- tableau 3 -

Ce tableau montre que pour chaque couple de points, 50 % environ des élèves réussissent à fournir la réponse correcte. La moitié d'entre eux, ou même plus en qIIc₁, se fournissent aucune construction pour justifier leur réponse.

Le tracé d'un second rayon apparaît un peu plus fréquemment pour justifier un "Non" (un tiers du total en IIc₂) que pour un oui. Si l'on regroupe tous les élèves qui ont tracé un second rayon, quelque soit leur réponse, on arrive à 38 % dans une version comme dans l'autre. Si l'on ajoute à cela:

- Les 39 % d'élèves qui concluent à l'absence d'image en $qIIC_1$:

Et.57 *"Pas d'images pour des objets car pour obtenir une image, il faut faire sortir de l'objet deux rayons, ce qui n'est pas vérifié"*

- Les 33 % qui s'abstiennent en $qIIC_2$.
- Ceux enfin qui précisent qu'un seul rayon ne suffit pas et s'en tiennent là (17 % en IIC_1 , 14 % en IIC_2):

Et.10 IIC_1 *"Ni E ni D sont les images de A et C car un seul rayon ne détermine pas une image" (sans aucune construction).*

Et.47 IIC_1 *"D n'est pas une image de quel objet, car D n'est pas la rencontre de deux rayons".*

On mesure la perturbation introduite par une schématisation insuffisante par rapport aux habitudes scolaires, mais pourtant élémentaire à compléter. Les commentaires que nous venons de citer illustrent bien une sorte de paralysie de l'étudiant devant le schéma, comme si celui-ci devait recouvrir toute la réalité physique et que donc tout ce qui n'était pas sur le schéma n'existait pas: si le point D n'est pas l'image de A, il n'y a pas d'image.

Et.3 IIC_2 *"L'image de A n'est ni D ni E et l'image de C n'est ni D ni E pour cela l'image de A et C n'existe pas car l'image de A doit être sur l'intersection de l'axe secondaire avec le rayon".*

Ou encore si un seul rayon est dessiné, il n'y a plus qu'à baisser les bras, comme en témoignent les commentaires cités plus-haut. L'autre version, plus grossière mais aussi plus minoritaire, de cette "dévotion" à l'égard du schéma consiste à conférer aux points dessinés sur un même rayon, et de ce seul fait, le statut de couple objet-image:

- Et.13 qIIc₁ *"D image de A
E image de C
Le rayon émanant du point A, se converge en passant par
un foyer secondaire".*
- Et.15 qIIc₂ *"L'image de A c'est B, car le faisceau dirigé de A arrive
à B de même D est l'image de C car le faisceau dirigé
de D arrive à C".*
- Et.2 qIIc₂ *"B c'est l'image de A, D est l'image de C, car on a une
lentille convergente alors le rayon se converge et là on
remarque que le rayon qui part de A converge en passant
par B et de même pour D et C.*

Ces derniers exemples sur la convergence à un seul rayon illustrent au passage un raisonnement très minoritaire mais non exceptionnel. Sans doute l'expression "se converger" y évoque-t-elle pour l'étudiant le fait d'être rabattu vers l'axe principal ?

Quoi qu'il en soit ces commentaires renforcent l'impression générale qui ressort de ces résultats: hors de la reconnaissance automatique du schéma scolaire classique à deux rayons, les étudiants se trouvent souvent très démunis devant la moindre initiative à prendre, sans doute faute d'une idée un peu consistante de ce que signifie la convergence d'un faisceau et faute également de saisir clairement le statut du schéma par rapport à la réalité physique.

Un autre aspect des réponses, plus inattendu ici, manifeste également la prégnance de comportements que l'on est tenté de qualifier d'automatiques sinon "rituels".

- b) Le désir de mettre un "pied" à l'objet et à l'image; correspondance point à point ou globale.

Un phénomène minoritaire attire l'attention: en question qIIId le point P et son image Q n'ont pas le droit de flotter dans l'espace, ils doivent avoir des "pieds". Une dizaine d'étudiants sur 95 (13 %) ont ainsi abaissé des perpendiculaires à l'axe principal, constituant par là même un objet et/ou une image étendu (e):

Et.1 qIIId "NQ segment image PR".

Et.33 qIIId "L'image de P est renversée plus grande que l'objet"

Et.32 qIIId "P'A' image de PA".

En questions qIIc₁ et qIIc₂ on retrouve ce phénomène ainsi que le désir de réunir A à C d'une part, E et D de l'autre.

Dans l'un et l'autre cas, il s'agit pour l'élève de traiter non pas seulement des correspondances ponctuelles mais une correspondance globale d'objet étendu à image étendue.

Les résultats qui traduisent ces tendances dans qIIc₁ et qIIc₂ peuvent être groupés dans le tableau suivant:

	IIc ₁	IIc ₂	
mise d'un pied	12	19	Les chiffres sont exprimés en % du total
DE image de AC	9	8	
	58	37	

- tableau 4 -

Ces fréquences ne sont pas tellement élevées mais l'existence elle-même de ces réponses révèle un caractère intéressant du raisonnement

de l'étudiant.

Le désir de "mettre un pied" (12 % dans IIC₁ et 19 % dans IIC₂) apparaît beaucoup plus sur les schémas que dans les commentaires. Quelques uns en parlent explicitement:

- Et.16 qIIC₁ "*Les notations de la figure sont insuffisantes .
A'C' image réelle de AC*". (AC \perp à l'axe principal)*
- Et.29 qIIC₁ "*AA' image de BB'*". (AA' \perp à l'axe principal)*
- Et.27 qIIC₂ "*A'B' image de AB*". (AB \perp à l'axe principal)*

La jonction de deux points qui ne sont pas situés sur la même perpendiculaire à l'axe principal se retrouve à égale proportion (9 et 8% respectivement) dans les qIIC₁ et qIIC₂. Les justifications sont souvent explicites:

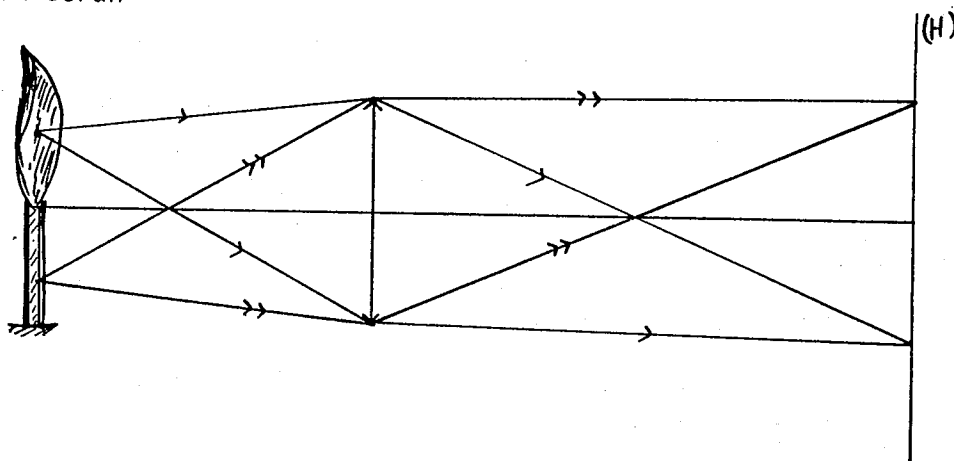
- Et.34 qIIC₁ "*D image de A, E image de C \Rightarrow l'objet AC nous donne une image ED*".
- Et.43 qIIC₁ "*Le segment AC est un objet qui n'a pas une image réelle, son image qui est ED n'est pas nette*".
- Et.15 qIIC₂ "*Segment ED image du segment AC*"
- Et.28 qIIC₂ "*L'image DE égal à l'objet AC*" (avec un schéma joignant A à C et D à E)*

Ce besoin de traiter un objet et une image étendus et continus, manifesté dans ces questions IID et IIC, réjoint ce que nous avons observé en Ib, où deux sources ponctuelles S₁ et S₂ produisent pour 18 % des étudiants (le tiers de ceux qui parlent d'image) une tâche blanche qui est l'image de S₁S₂.

* noté par nous.

Dans le désir de voir jusqu'où vont les automatismes de l'élève dans la "traduction" des points en objets ou images globaux, nous avons proposé une question où sur un objet étendu sont dessinés deux points qui n'en sont pas les extrémités:

- qVI (L) est une lentille convergente
(H) est un écran



S'il vous semble qu'il manque des notations sur la figure ajoutez-en.

* Que voit-on sur (H)?

Justifiez votre réponse:

Le tableau (5) rassemble les résultats à cette question:

question	VI	
On voit sur l'écran		
L'image de la bougie	29	*Les chiffres sont exprimés en % du nombre total * Les différentes catégories s'excluent mutuellement.
L'image du segment AB	21	
L'image de la bougie et de AB	5	
Une image réelle renversée (seulement)	17	
Deux points (seulement)	9	
Un point (seulement)	9	
Abstentions et insignifiantes	10	
Effectif	58	

- tableau 5 -

- 29 % des étudiants disent que sur l'écran ils voient l'image de la bougie (3 d'entre eux ne voient que l'image de la flamme).

La correspondance point à point entre la bougie et son image a été évoqué par 3 étudiants. Citons l'un d'entre eux dont la justification semble riche et intéressante et rejoint la définition que nous avons donné à l'image au début du chapitre I.

Et.10 *"La lentille est convergente donc les faisceaux incidents divergents sortent de l'objet "la bougie" vont se converger en sortant de la lentille, le sommet du faisceau émergent convergent est appelé l'"image". Or les sommets sont situés exactement en H, donc en H on voit l'image de la bougie "objet".*

- 21 % des étudiants prennent pour objet le segment "AB" limité par les deux points qui figurent sur le schéma (et ne sont pas désignés par des lettres, remarquons le) et lui attribuent par correspondance globale une image A'B':

Et. 8 "On voit A'B' image de AB par rapport à la lentille"

Et.17 "On voit un segment A'B' renversé par rapport au segment initial AB.

- 3 étudiants (5 %) disent à la fois "image de AB" et "image de la bougie".

Et. 7 "On voit l'image de la bougie".

$$\left. \begin{array}{l} A' \text{ image de } A \\ B' \text{ image de } B \end{array} \right\} \Rightarrow A'B' \text{ image de } AB \text{ sur l'écran"}$$

- Pour le reste 17 % disent qu'ils voient une image réelle renversée sans autre précision, à ceci près que la plupart d'entre eux nomment A et B les sommets des faisceaux incidents et A', B' les points conjugués.

- 9 % des étudiants concluent à la présence de deux points sur l'écran:

Et.46 "On voit une image A' et une image B'
A' image de A et B' image de B".

Et.49 "On voit deux images de deux points".

- 9 % encore ne voient sur l'écran qu'un seul point image.

Et.12 "On voit sur H un point lumineux".

Ces pourcentages ne traduisent sans doute rien d'alarmant du point de vue strictement académique de la réussite aux exercices classiques. On reste pourtant rêveur devant le fait qu'un tiers (29 + 5 %) seulement donnent la réponse à la fois toute simple et importante: "sur l'écran, on voit l'image de la bougie", et que parallèlement 41 % des élèves limitent ce que l'on voit sur l'écran soit à un ou deux points (20 %) soit au segment qui les joint (21 %). Ce segment est un objet bien pauvrement géométrique et s'il prenait quelque corps, ne serait

jamais qu'un morceau de la bougie. Il y a là une indication de plus que le statut du schéma par rapport à la réalité physique est loin d'être évident.

Récapitulation sur les couples objets-images dans la schématisation classique

Le statut du schéma par rapport à la réalité physique ne semble pas maîtrisé par la majorité des élèves interrogés. Beaucoup semblent paralysés devant le schéma proposé, comme s'ils lui prêtaient une réalité physique contraignante et exclusive, plutôt que le statut d'un simple outil de travail. Dans l'interprétation du schéma, les élèves se heurtent notamment à la difficulté du passage du ponctuel au global, du discontinu au continu, et à l'idée d'échantillonnage: deux rayons permettent de prévoir le comportement d'une infinité d'autres, deux correspondances ponctuelles autorisent également d'en prévoir une infinité d'autres.

Il faut reconnaître qu'il n'y a rien d'étonnant à ce que devant des idées si complexes, les élèves se réfugient dans les automatismes scolaires, se cramponnent à ce qu'ils voient dessiné, réunissent les couples de points qui leur tombent sous la main et ne s'écartent guère "du segment AB". Mais peut-être ce domaine justifierait-il des actions pédagogiques plus spécifiques. Nous y reviendrons.

2- Caches et diaphragmes

Cherchant à tester plus profondément la capacité de l'élève à comprendre le concept de la "formation des images" en optique, nous avons proposé des questions qualitatives qui mettent en jeu un système dans lequel nous avons inséré sur le trajet des rayons des obstacles opaques empêchant l'arrivée sur l'écran d'une partie de la lumière qui tombe sur la lentille.

A ces obstacles nous avons donné deux formes:

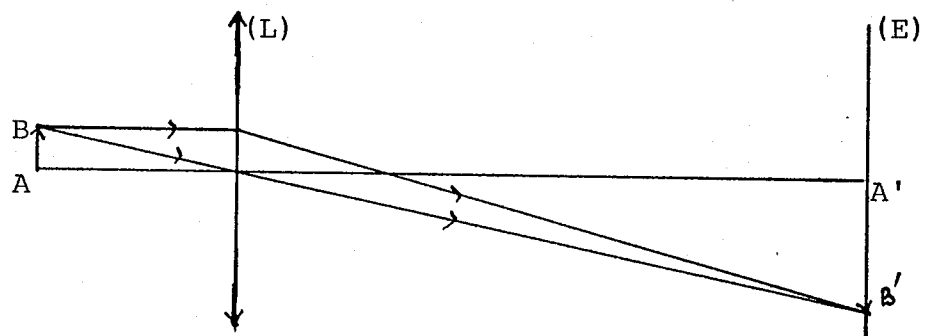
- L'une circulaire "pièce de 5 piastres" de faibles dimensions accolée à la partie centrale de la lentille.
- L'autre annulaire et qui cache la partie périphérique de la lentille.

qVII

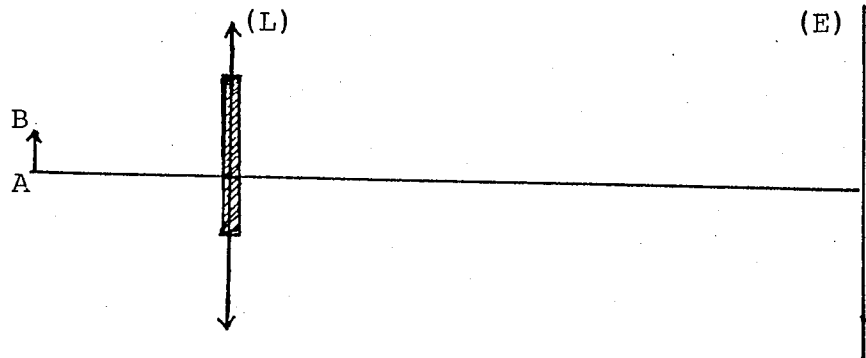
Cache Circulaire

Une lentille convergente (L) donne d'un objet AB lumineux une image réelle A'B' que l'on reçoit sur un écran (E).

L'ensemble est disposé comme le montre le schéma suivant:



On dispose un cache sur la partie centrale de la lentille, comme sur le schéma ci-dessous. (L'objet, la lentille et l'écran sont toujours au même endroit).



* Que voit-on maintenant sur l'écran? Comparez avec le cas précédent en justifiant votre réponse..

La population interrogée pour cette question fût relativement importante et diversifiée (2 classes de première au Liban et 3 sections de DEUG à Paris VII).

Les resultats peuvent être groupés dans le tableau suivant:

population	Première	DEUG		
Type de réponse	Liban(I)	ParisVII(II)		
Oui on voit l'image	46	47		Les chiffres sont exprimés en % du nombre total
On voit une partie de l'image	14 } 19%	2 } 5%	sous-ensemble du "oui"	
On voit une image percée d'un disque noir	5 }	3 }		
On voit deux points sur l'écran	5	2		
On voit un point sur l'écran	2	14		
Non on ne voit plus l'image	38	25		
On voit l'ombre du cache	5	14	sous-ensemble du "Non"	
Abstentions	9	14		
Effectif	58	93		

- Tableau 6 -

La proportion de ceux qui voient une image sur l'écran est presque la même pour les différentes populations interrogées soit 50 % environ. Les justifications pour le "oui" sont majoritairement significatives et et inter essantes:

Et.5.I *"Je vois A'B' sur l'écran dans la même position , mais l'image sera moins nette car la partie centrale de la lentille, c'est la partie la plus stigmatique et avec les bords on n'aura plus une lentille qui obéit aux conditions de Gauss."*

- Et.36.I *"L'image A'B' reste à sa place mais elle perd une partie de sa luminosité, car les rayons venant de l'objet sont arrêtés par le cache dans la partie centrale, mais aux bords de la lentille les rayons continuent leurs chemins pour arriver à l'image A'B'."*

Ces deux commentaires mettent en évidence l'existence de l'idée correcte dans le raisonnement d'un bon nombre d'éléments (46 %) de classe de première au Liban. Plusieurs élèves ont évoqué les conditions de Gauss, soit pour dire que l'image qui se forme n'est pas nette soit pour justifier son absence. Peu nombreux sont ceux qui ont parlé d'une diminution de la luminosité de l'image, par contre les étudiants de DEUG n'ont pas évoqué dans leurs justifications les conditions de Gauss et ont beaucoup plus parlé d'une faiblesse dans la luminosité de l'image formée avec existence du cache.

- Et.3.II *"On voit la même chose qu'avant mais moins lumineux. En effet tous les rayons issus de B vont en B' ".*
- Et.65.II *"On voit toujours A'B' mais de façon moins lumineux que le premier cas".*

Un seul étudiant a senti que l'image formée dans le second cas peut-être moins nette car les rayons passent à travers les bords de la lentille.

- Et.67.II *"On voit toujours une image sur l'écran cependant la quantité de lumière sur l'écran est moindre, l'image sera donc moins lumineuse, mais aussi la lumière passe par les bords de la lentille, l'image sera moins nette (purement intuitif peut-être c'est la déformation sur les bords de la lentille)."*

A côté des justifications qui évoquent la solution correcte, nous avons trouvé des justifications (lignes 2 et 3 du tableau) qui mettent en évidence, parmi ceux qui admettent

l'existence de l'image, deux catégories intéressantes; celles des élèves qui fractionnent l'image et voient soit les bords de cette image soit une image percée d'un trou noir. Ces catégories sont plus représentées dans la population I que dans la population II.

Et.54.I *"Dans le premier cas l'objet AB donne une image réelle A'B', mais dans le second cas le cache empêche la formation totale ou complète, alors on voit sur l'écran les bords inférieur et supérieur de l'image".*

Et.5-I *"Dans le premier cas la lumière passe et donne une image complète mais dans le cas (2) le cache arrête la lumière qui passe par le centre de (L) alors on obtient une image percée dans son centre par une tâche noire".*

Et.55-II *"Les rayons issus de B forment sur l'écran une image dont le centre est une ombre".*

Et.78-II *"Il y aura une partie de l'écran, la partie centrale qui sera sombre, le reste sera éclairé grâce à l'objet lumineux".*

Ces justifications ramènent respectivement à 27%* et à 42 %* les pourcentages d'étudiants de première et de DEUG susceptibles d'avoir compris correctement la formation de l'image.

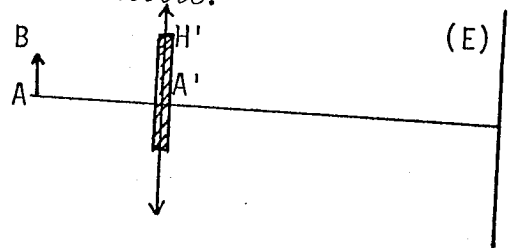
Les taux du "non" est moindre que celui du "oui" dans les deux populations, il gravite autour des 30 %. Les justifications avancées dans ce domaine sont toutes du même type:

* 27 = oui on voit l'image - oui on voit une partie de l'image col.(1)

* 42 = oui ont voit l'image - oui on voit une partie de l'image col.(2)

Et.4-I "On ne voit aucune chose sur l'écran, car il n'y a aucun rayon lumineux qui traverse la lentille pour terminer son chemin et former l'image ou une partie de l'image sur (E). Le premier rayon parallèle à l'axe focal ne peut pas terminer son chemin car il rencontre le cache, le rayon qui passe par O aussi".

Et.24-I "Si $AB < A'H'$ on ne recueille rien sur (E) car les rayons lumineux ne traversent pas la lentille. Si $AB > A'H'$ on peut obtenir l'image de la partie supérieure à H' ."



Et.4-II "Sur l'écran, il n'apparaît aucune image $A'B'$ car les rayons passant par AB sont arrêtés au niveau de la lentille, car celle-ci est cachée, la hauteur de AB étant inférieure au cache".

Et.63-II "Sur l'écran on voit une bande lumineuse, cette bande correspond à l'espace restant entre la lentille et le cache, l'objet ne sera pas apparaissant car le rayon qui part de B est stoppé par le cache".

Les schéma traditionnel à deux rayons semble s'imposer comme une réalité physique propre dans les raisonnements.. Nous ferons dans la suite référence à ce phénomène sous la rubrique "lecture réaliste du schéma".

L'idée centrale dans les justifications du "non" est que les rayons qui ont servi à construire l'image dans le cas (1) ne peuvent plus passer. Une sorte d'automatisme aveugle empêche dans la plupart des cas l'étudiant de chercher si d'autres rayons peuvent traverser la lentille pour former l'image sur l'écran.

Parmi ceux qui on dit qu'il n'y a pas d'image sur l'écran certains voient à la place, soit des tâches, soit l'ombre du cache, voire dans certains cas l'image du cache:

- Et.52-I *"Dans le deuxième cas on voit une petite tâche correspondant à la partie de la lentille non cachée".*
- Et.25-II *"On voit sur l'écran une ombre de la dimension de l'objet AB en A'B'. En effet mettre un cache signifie éliminer une partie du faisceau. Or le faisceau retranché et le faisceau d'origine ont les mêmes images. L'image vue est donc celle du cache réduite aux dimensions de AB et situé en A'B' ".*
- Et.74-II *"On verra l'ombre du cache sur l'écran".*
- Et.24-II *"Nous verrons une tâche noire ou circulaire suivant la forme du cache".*
- Et.75-II *"On ne voit plus aucune image sur l'écran, la lumière peut traverser la partie périphérique de la lentille on peut voir un halot de lumière sur l'écran de diamètre inférieur à celui de la lentille".*

Notons en particulier le commentaire de l'étudiant 25-II chez qui on sent un conflit conceptuel entre objet, cache et image: Ce conflit se traduit par une combinaison hétérogène qui nous rappelle le conflit des formes que nous avons déjà étudié dans la formation des images avec les chambres noires.

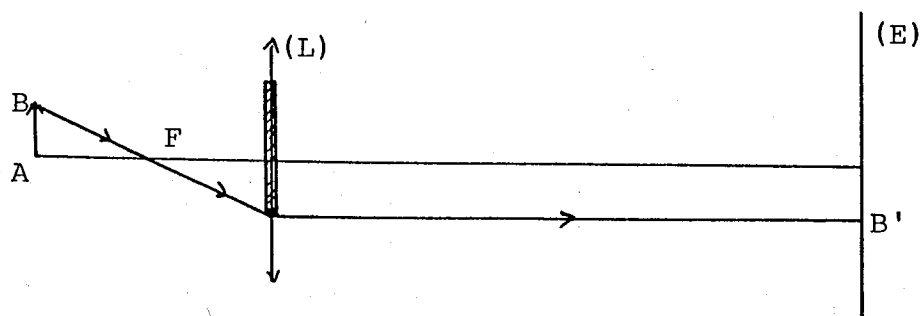
Enfin certains étudiants ne voient sur l'écran que l'image du point B qui pour eux dépasse le niveau du cache (comparaison de la hauteur de l'objet avec la hauteur du cache) et permet par suite le passage du fameux rayon parallèle à l'axe principal.

- Et.13-I *"Dans le second cas le rayon parallèle à l'axe principal et celui qui passe par le centre optique sont empêchées de continuer, mais il y a d'autres rayons qui passent et forment l'image B' de B.*
On n'obtient pas l'image de A car il appartient à un rayon qui se dirige suivant l'axe principal et s'arrête au centre de la lentille et son image est empêchée de se former car le centre est caché ".
- Et.7-II *"E& bien nous apercevons sur l'écran un point qui est l'image de B et nous n'apercevons rien d'autre, par conséquent l'image de AB correspond à un point quand le cache est placé sur la lentille."*
- Et.15-II *"Sur l'écran on voit le point B' qui limite l'image".*
- Et.49-II *"On voit un point sur l'écran car toute la lumière donnant l'image A'B' du premier cas est arrêtée.*
- Et.85-II *"On voit un point lumineux issu de B et qui peut parvenir soit par en-dessous soit par en-dessus".*

La dissymétrie du cache placé sur la lentille a permis à certains de faire passer un rayon particulier (celui qui passe par le foyer principal-objet) en dessous du cache. Ce rayon en sortant forme l'image de B (retour sur la formation de l'image avec un seul rayon)*.

Une lecture réaliste du schéma se joint ici à l'idée de la formation d'une image avec un seul rayon.

* Phénomène qui prédomine dans les réponses sur la formation de l'image réelle avec une lentille convergente chez les sujets étudiés par Anderson (6) voir page (93-94).



La transformation "continu-discontinu" continue à apparaître encore dans ce genre de question. Une proportion faible mais pourtant non négligeable associe à l'objet soit deux points images, soit deux images.

Et.50-I *"Quand on a mis un cache sur la lentille la source diffuse de la périphérie de la lentille c'est pourquoi il se forme deux images ponctuelles".*

Et.29-II *"On voit deux points".*

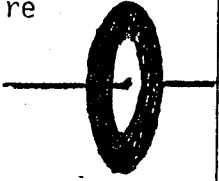
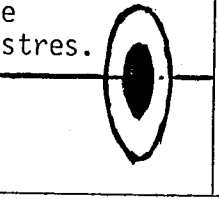
Et.30-II *"Deux lentilles donc deux images".*

Moins d'un tiers des étudiants en Première au Liban, 40% seulement des étudiants de DEUG à l'université Paris VII dominent la difficulté essentielle de ce questionnaire, qui est de ne pas accorder particulièrement d'importance à la "réalisation physique" des rayons de construction du schéma. On peut dire que pour les autres étudiants la notion même d'image n'est pas comprise, bien qu'ils sachent en majorité faire les constructions couramment demandées en situation scolaire.

b- Le diaphragme annulaire comparé au cache circulaire

Dans la q VIII traitant un thème de notre travail sur la "netteté-luminosité", on a inséré deux sous-questions portant l'une sur le cache circulaire (test de 5 piastres) et l'autre sur le diaphragme annulaire, de façon à vérifier la généralité des résultats précédents et à voir si le rapprochement des deux situations affecterait le raisonnement des élèves.

qVIII | La lentille convergente (L) donne de la lettre (H) une image nette sur un écran (E).
On va discuter les caractéristiques de cette image.
N.B. Expliquez-vous en détail avec autant de schémas que possible.

<div>La caractéristique ci-dessous seule est changée</div> <div>question</div>	<div>1)</div> <div>-Voit-on toujours l'image?</div> <div>-Pourquoi</div>	<div>2)</div> <div>-Que devient la luminosité de l'image:</div> <div>-elle augmente</div> <div>-elle diminue</div> <div>-elle est inchangée.</div> <div>Pourquoi?</div>	<div>3)</div> <div>Que devient la netteté de l'image.</div> <div>-elle augmente</div> <div>-elle diminue</div> <div>-elle est inchangée.</div> <div>Pourquoi?</div>
<div>d) On cache la périphérie de (L) avec un anneau circulaire opaque.</div> <div></div>			
<div>e) On cache la région centrale de (L) avec une pièce de 5 piastres.</div> <div></div>			

Cette question a été posée à trois classes de première au Liban donc à trois échantillons d'une population homogène. Les résultats de l'interrogation sur les deux genres d'obstacle peuvent être représentés en groupant les trois échantillons dans le tableau (7) suivant:

Suggestion \downarrow $q \rightarrow$	e_1 cache circulaire	d_1 diaphragme annulaire	
Oui on voit toujours l'image	10	48	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total.
On voit une partie de l'image. Image percée, morcelée, plus petite.	22	22	
Non on ne voit plus l'image	47	12	
Abstentions ou non significantes	21	18	
Effectif	83	83	

- tableau 7 -

Si l'on compare les résultats obtenus pour le cache circulaire à ceux du diaphragme annulaire on observe les faits suivants:

Le taux des réponses qui prévoient que l'on verra une partie de l'image est analogue (22 %). En revanche le taux des élèves susceptibles de faire un raisonnement correct est moindre dans le cas du cache circulaire (10 % contre environ 50 %) tandis que ceux qui prévoient la disparition de l'image sont plus nombreux toujours dans le cas du cache circulaire (environ 50 % contre environ 10 %).

Les deux types d'obstacle sont donc traités de façon bien différente, l'effet du cache circulaire étant particulièrement mal compris.

Si l'on rassemble les divers types d'erreurs dans ce dernier cas , on retrouve une proportion (69 %) analogue à ce qui a été observée pour la q VII (64 %)* .

Le diaphragme annulaire, beaucoup mieux traité, est même souvent associé à une image plus nette car les rayons qui traversent la lentille sont alors "centraux" et/ou "paraxiaux" (48 % des étudiants).

Et.71.d₁ *"Oui on voit l'image plus nettement car les rayons seront condensés".*

(14 %) des étudiants attribuent simplement l'existence de l'image au fait que le centre de la lentille n'est pas caché.

Et.2.d₁ *"Oui puisque la region centrale n'est pas cachée".*

Et.11.d₁ *"Oui car supposons qu'on a découpé cette partie de la lentille , on aura une lentille mais plus petite et ça n'intéresse pas".*

Ces commentaires confirment que le centre de la lentille joue un rôle prépondérant dans la formation de l'image. De plus la plupart de ceux qui, dans le cas du cache circulaire disent que l'image disparaît justifient leurs réponses en attirant l'attention sur le fait que le centre de la lentille est caché:

Et.63.e₁ *"Non on voit seulement lorsque les rayons sont dirigés vers le centre".*

Et.46.e₁ *"On ne voit pas l'image car le centre est caché et la lumière ne passe pas par le centre de la lentille".*

Et.4.e₁ *"On ne voit pas l'image car la région centrale est cachée".*

Et.7.e₁ *"On ne la voit pas il n'y a pas de centre pour passer la lumière".*

* Voir tableau (6) page (60) colonne (1).

La catégorie signalée plus-haut sur la formation d'une partie de l'image réapparaît ici dans les justifications des élèves avec une proportion semblable (22 %) dans l'un et l'autre cas (cache circulaire ou annulaire). Notons que souvent ce sont les mêmes élèves dans les deux cas qui morcellent l'image.

Et.28-d₁ *"On voit la moitié de l'image parce que la périphérie est cachée".*

e₁ *"On voit la périphérie de l'image parce que le centre est caché".*

Et.29-d₁.e₁ *"On voit une partie de l'image car il y a une cloison".*

Et.47-d₁ *"Si l'objet est \leq à l'ouverture de l'anneau on peut voir l'image, mais si l'ouverture est plus petite on ne peut pas voir toute l'image".*

e₁ *"Si l'objet est \leq à la pièce on ne voit pas l'image".*

Et.50-e₁ *"On voit une partie de l'objet car une partie de H va donner des rayons sur la partie noire de la lentille et il s'arrête".*

Et.58-e₁ *"On voit l'image sous forme d'anneau".*

L'image percée d'un trou noir, évoquée précédemment, réapparaît clairement dans ce genre de commentaires; la comparaison des dimensions relatives de l'objet et du diaphragme montre de nouveau l'influence d'une lecture réaliste du schéma.

Et.70-d₁ *"On peut voir la partie centrale de l'image".*

e₁ *"On peut voir les parties latérales de l'image".*

Pour terminer cette étude notons l'existence d'un certain nombre de commentaires accompagnant la réponse "oui" qui méritent d'être mentionnés:

- Et.51-d₁ *"Oui on voit l'image mais plus petite que l'image normale, car il y a des parties qui n'ont pas traversé la lentille."*
- Et.58-d₁ *"On voit l'image mais elle n'est pas normale".*
- Et.79-d₁ *"On voit l'image mais si un rayon lumineux tombe sur la partie opaque l'image devient cassée".*
- Et.3-d₁ *"L'image devient virtuelle".*

Le mot "virtuelle" est probablement utilisée ici pour dire que l'image n'existe pas. L'"image plus petite" dans ce contexte signifie probablement que l'on ne voit qu'une partie seulement de l'image.

Enfin l'étudiant 9 rejoint par son commentaire ceux qui dans la qVII pensent que l'image disparaît parce que les rayons traditionnels qui servent à la construction de l'image sont arrêtés par le cache.

- Et.9-d₁ *"Oui car les rayons qui passent par le centre et par le foyer principal donnent l'image".*

Récapitulation sur l'étude du cache et du diaphragme.

Ce questionnaire confirme les résultats de la question précédente; pour la grande majorité des élèves ici (69 %) l'existence de l'image semble davantage liée à la possibilité de "réaliser" le schéma de construction traditionnel qu'à la convergence de tous les rayons issus d'un point, en un autre point. Le diaphragme annulaire, d'ailleurs plus familier, suscite un taux d'erreurs moindre mais encore impressionnant (34 %).

3- Difficultés liées à l'infini.

L'une des difficultés qui persiste après l'enseignement de l'optique est celle des problèmes posés par les objets à l'infini. Cette difficulté apparaît aussi bien avec un objet ponctuel qu'avec un objet étendu et est bien évidemment associée à la notion de dimension angulaire. Nous traitons les deux cas séparément dans la suite de notre rédaction. De façon plus précise les difficultés que nous prévoyons de rencontrer sont les suivantes:

- Difficulté (1):

Le concept d'objet ponctuel à l'infini est d'un abord nullement évident. Aucun véritable point n'est associé à cette notion: la surface de l'objet lui-même est nécessairement non nulle, et parfois considérable (dans le cas d'une étoile). La schématisation du faisceau incident implique apparemment une certaine étendue: celle de la zone hachurée contenue entre les deux rayons parallèles figurant sur ce faisceau. Bref rien de véritablement "ponctuel" en apparence..

- Difficulté (2):

Un objet étendu à l'infini n'est pas susceptible de représentations figuratives à l'échelle des schémas des systèmes optiques étudiés.

Ces difficultés se superposent à celles que nous avons évoquées dans ce qui précède et nous ne surprendrons personne en prédisant un fort pourcentage d'erreurs sur des questions même très voisines des questions scolaires habituelles. Telles sont les questions qui suivent. Elles ont pour but de nous permettre d'évaluer l'importance des difficultés que nous venons de décrire, et éventuellement d'en mettre d'autres en évidence à propos d'objets ponctuels (q_{IX} , q_X , q_{IIe} , q_{IIIf}) ou étendus (q_{XI} et q_{XII}).

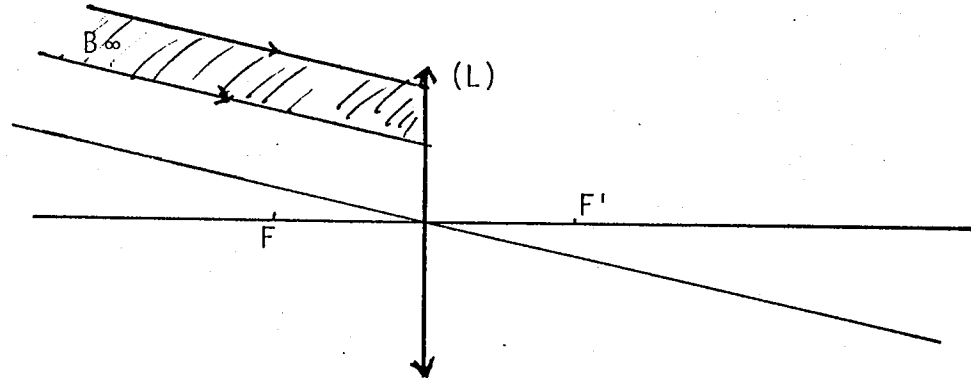
a) Objets ponctuels à l'infini.

qIX

(L) est une lentille convergente

B est un point à l'infini sur un axe secondaire

Compléter la marche du faisceau.



Les résultats de la qIX sont représentées sur le tableau (8) suivant:

élément de réponse \ q →	IX	Le faisceau incident existe sur le schéma
Convergence au foyer secondaire image correspondant	65	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total
Convergence en un foyer secondaire quelconque	8	
arrêt au foyer principal-image	27	
Effectif	22	

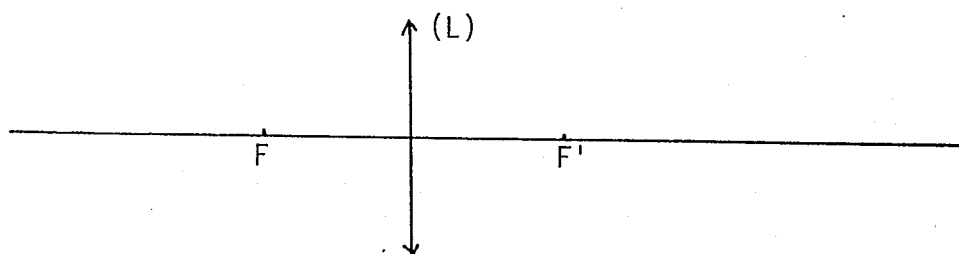
- tableau 8 -

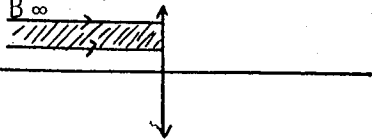
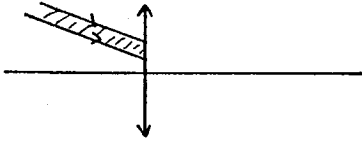
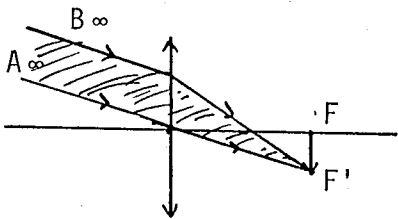
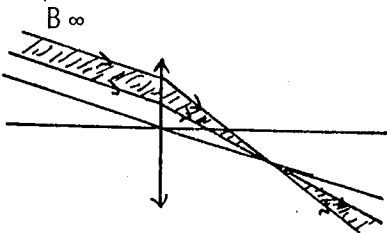
* Rappelons que l'étendue d'un tel faisceau (au sens photométrique) est en fait nulle. Mais l'existence d'une zone étendue sur le schéma semble prouver le contraire.

Ces premiers résultats montrent que l'association apprise entre les notions d'infini et de faisceau cylindrique d'une part, de foyer de l'autre, "fonctionne" pleinement. Mais la mauvaise localisation du point de concentration dans des nombreux cas (27 % + 8 %), ainsi que l'arrêt brutal des rayons quand il s'agit du foyer principal (27 %), laisse penser qu'il s'agit là d'une association quelque peu automatique, sans compréhension réelle.

La qX, pour laquelle le faisceau incident n'était pas tracé, confirme cette hypothèse. Trois classes ont été interrogées. Les résultats très différents de l'une d'elles nous ont conduit à présenter ceux-ci à part. Nous nous limitons, dans l'exposé des résultats, à repérer les taux des réponses correspondants aux traits qui ont été les plus marquants dans l'une ou l'autre population:

qX | (L) est une lentille convergente
Tracer à travers cette lentille la marche d'un faisceau provenant d'une étoile non située sur l'axe principal.



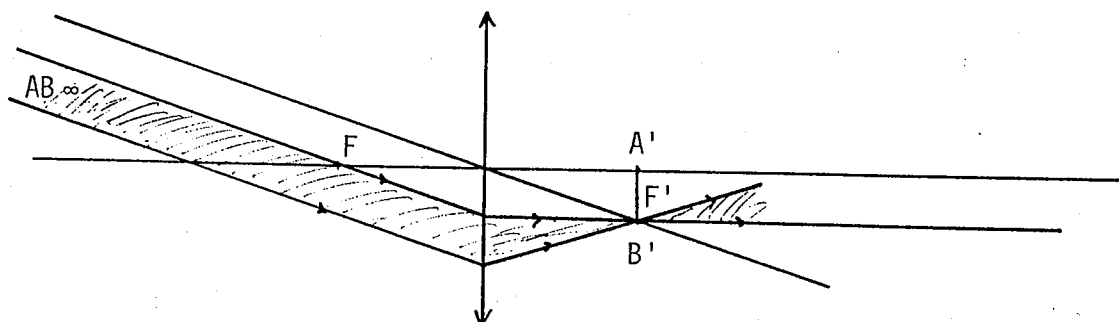
élément de réponse population →	Classes(1)et(2)	Classe(3)	
faisceau incident parallèle à l'axe principal 	75	0	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total
faisceau incident parallèle à un axe secondaire 	15	96	
image étendue 	0	74	
réponse correcte 	15	0	
Effectif	34	22	

Outre les faibles taux des réponses correctes on observe une grande inhomogénéité dans les erreurs observées lesquelles peuvent atteindre des fréquences très élevées. 75 % des élèves dans l'ensemble des deux classes (1) et (2) associent l'idée de l'infini à celle du faisceau parallèle à l'axe principal, et semblent associer à l'objet ponctuel "non situé sur l'axe principal" une simple translation du faisceau et non une position angulaire. Ces élèves limitent l'image au foyer principal-image.

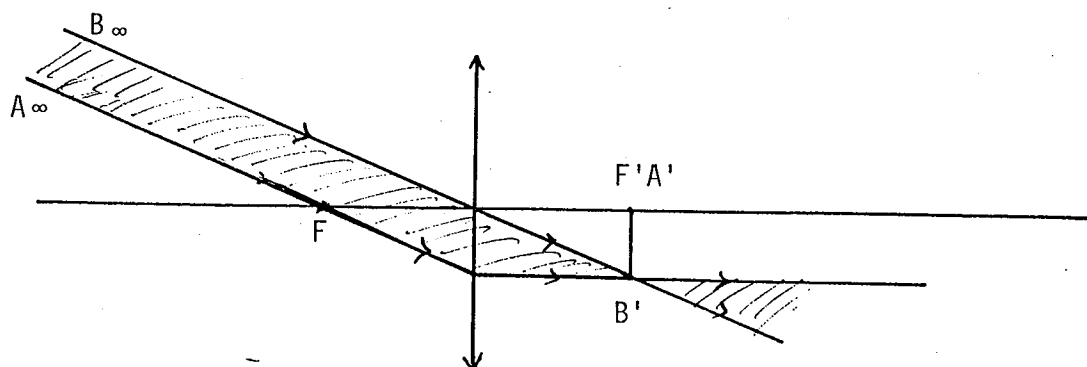
Dans la classe (3) le faisceau incident est parallèle à un axe secondaire pour 96 % des élèves, mais, il est associé pour 74 % (du total) des élèves à une image étendue FF' , conformément à ce que laisse prévoir la difficulté (1) évoquée plus-haut.

Voici des exemples de ce dernier type d'erreurs où l'on observera que le faisceau incident, en apparence correct, est associé à deux points à l'infini:

qX.Et.1-classe(3)



qX.Et.19 classe(3)



La comparaison de ces résultats avec ceux qui précèdent laisse penser que les élèves sont très perturbés lorsqu'ils doivent eux-mêmes symboliser l'objet ponctuel à l'infini.

Les compromis trouvés par les élèves entre les automatismes scolaires et la difficulté (1) signalée plus haut se révèlent être de fréquence très variable d'une classe à l'autre.

Reprenons maintenant les items qIIe et qIIf, qui cette fois proposent des schémas comportant des pièges:

qII Décrivez tous les couples objets-images figurant sur les schémas ci-dessous en indiquant précisément la correspondance:

Ex: point x image du point y.

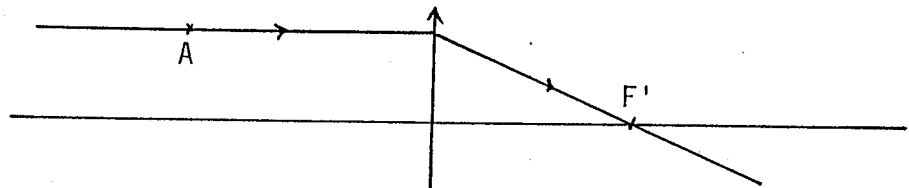
segment LM image du segment NO

Si les notations des figures proposées vous semble insuffisantes vous pouvez en rajouter.

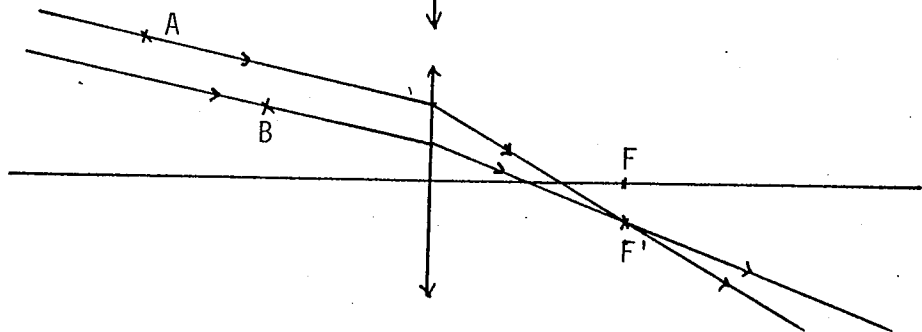
Si aucun couple objet image ne vous semble mis en évidence sur la figure dites-le.

De toutes façons justifiez ou commentez vos réponses.

qIIe



qIIf



En qIIe 25 élèves sur 95 soit (26 %) disent que F est l'image de A: (pratiquement toutes les autres sont plus ou moins clairement correctes).

Pour eux tout point se trouvant sur un rayon parallèle à l'axe principal a son image au foyer principal image, les commentaires montrent clairement l'opinion de ces étudiants:

- qIIe.Et.5.2* *"Comme le rayon issu de A est parallèle à l'axe principal de la lentille donc l'image est sur le foyer principal image".*
- qIIe.Et.24.2 *"L'objet A me donne son image dans le plan focal image car il tombe sur la lentille parallèle à l'axe principal".*
- qIIe.Et.3.1 *"F image de A car tout rayon émergent parallèle à l'axe principal se converge en passant par le foyer".*
- Et.13.1 *"A appartient à un rayon qui est parallèle à l'axe principal de la lentille donc son image doit être en F' (foyer image de L)".*
- Et.23.1 *"F est l'image de A car le rayon de A est parallèle à l'axe, c'est à dire son image est dans le foyer".*
- Et.29.1 *"Le rayon qui passe par A est parallèle à l'axe principal donc il émerge en passant par F qui est l'image de son objet qui donne des rayons parallèles à l'axe principal".*

La même erreur (un point quelconque sur un rayon incident a son image sur le rayon émergent correspondant) a été commise par les mêmes étudiants dans la qIIc.

L'apprentissage scolaire joue donc un rôle déterminant dans ces commentaires où partout transparait la double association parallélisme

* (2) signifie 2ème passation.

↔ infini ↔ foyer. Mais là encore l'association paraît davantage une liaison automatique de mots clé que l'intégration maîtrisée de plusieurs aspects d'un concept, comme le démontrent clairement certaines justifications.

La qIIIf confirme aussi nettement cette hypothèse avec plus de variété dans les types de réponses obtenues. Les résultats de cette question peuvent être groupés dans le tableau (10) suivant:

élément de réponse ↓ \ q →	qIIIf	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total
F' est l'image de A et de B	19	
F' est l'image de AB	2	
FF' est l'image de AB.	15	
FF' est l'image de AB à l'infini	15	
F' est l'image de A si A est à l'infini ou si A est en F son image est à l'infini	37	
Abstentions ou réponses non significantes	12	
Effectif	95	

- tableau 10 -

La catégorie d'erreurs la plus représentée en qIIe se retrouve avec une proportion presque égale ici, la plupart de ceux qui ont dit "F image de A" dans la qIIe ont dit aussi "F' est l'image de A et de B " dans la qIIIf (19 %).

qIIIf.Et.1.1 "F' image de A et de B".

qIIIf.Et.13.1 "A appartient à un rayon quelconque venant de l'infini son image doit être dans le plan focal image secondaire et ce foyer appartient à un axe secondaire alors son image est en F', il en est de même pour le point B, F' image du point B encore".

qIIIf.Et.17.1 *"F' image de A et de B du fait que A et B appartiennent à deux rayons parallèles à un axe secondaire, leur image est sur le foyer secondaire".*

- Les 15 % qui, à (AB) font correspondre comme image FF' répondent comme ils peuvent à la nécessité de faire à toutes forces correspondre à deux points objets deux points images (cette catégorie nous ramène aux (4 %) qui dans la qIIc font correspondre au segment AC le segment DE).

Et.48-1 *"F image de A, F' image de B, FF' image de AB".*

- 15 % des élèves ajoutent que FF' est l'image de AB supposé à l'infini:

Et.34-2 *"AB est un objet placé à l'infini donc son image est dans le plan focal et c'est une image renversée plus petite que l'objet".*

Et.11-1 *"L'image d'un objet AB placé à l'infini est FF'".*



Récapitulation sur l'étude des difficultés liées à l'objet ponctuel à l'infini

Le tracé des faisceaux issus des sources ponctuelles à l'infini fait davantage apparaître l'unanimité d'association entre divers aspects-clé "parallèle"- "infini"- "foyer" qu'une compréhension complète de l'articulation entre ces aspects.

On note que la moindre perturbation apportée à une question scolaire classique et élémentaire fait apparaître , avec parfois des fréquences très élevées, des erreurs qui se rattachent aux difficultés évoquées plus haut: notamment l'association d'une image étendue à un objet ponctuel [difficulté (1)] et une interprétation de l'expression "objet à l'infini non situé sur l'axe principal" en termes de distance entre l'axe principal et un pinceau lumineux parallèle à celui-ci.

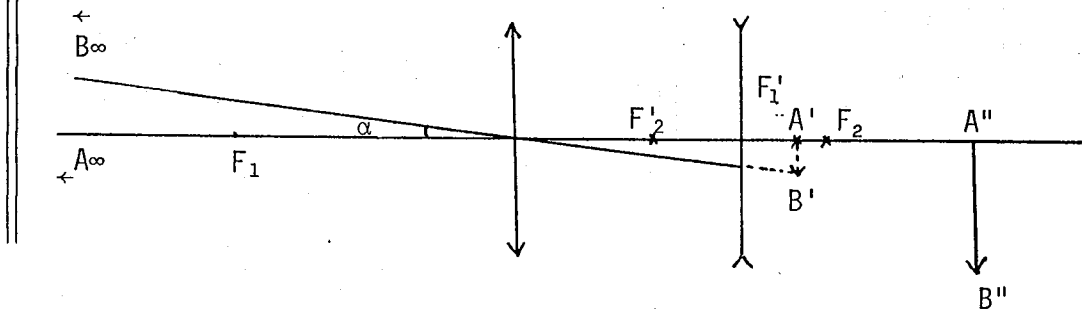
Il s'avère que les compromis trouvés entre difficultés et automatismes scolaires peuvent être très dépendants , du point de vue de leur fréquence d'apparition, de la population scolaire étudiée et donc probablement du type d'enseignement reçu.

b- Objets étendus à l'infini.

Voyons maintenant ce qu'il en est pour un objet étendu à l'infini, à l'aide des questions qXI et qXII.

Là encore nous serons en mesure de comparer les réponses obtenues pour des questions où les éléments de schématisation sont fournis dans le texte (qXI) ou non (qXII).

- qXI | Tracer la marche d'un faisceau lumineux issu du bord supérieur B de la lune. Le bord inférieur A est dans la direction de l'axe principal du système optique figuré ci-dessous.
 α est le diamètre apparent de la lune.
 $A'B'$ image intermédiaire de la lune (fournie par l'objectif).
 $A''B''$ est l'image finale fournie par le système.

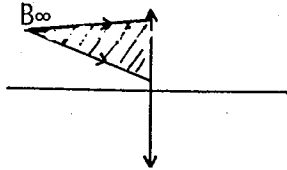
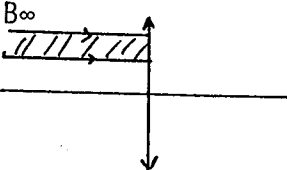
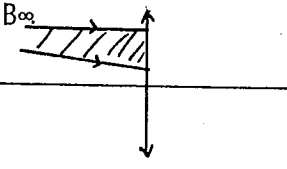
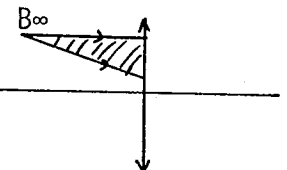
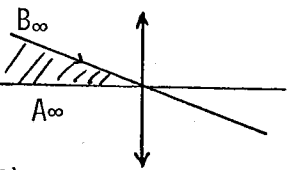
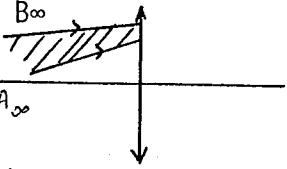


La qXI, dans laquelle nous ne nous intéressons qu'aux arrivées des faisceaux, est relative à un objet étendu avec suggestions des directions de deux bords de cet objet (A_∞ le bord supérieur de la lune, B_∞ bord inférieur). Elle a la forme très classique d'un exercice scolaire.

55 % de la population dont l'effectif est de 58 étudiants ont fourni des arrivées de faisceaux correctes.

Les erreurs commises dans les arrivées des faisceaux peuvent être classées en deux catégories principales dans le tableau (11) suivant:



schémas focalisés sur le bord : supérieur B total 22 %	(1) 	5	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total
	(2) 	4	
	(3) 	8	
	(4) 	5	
"Schémas globaux" total 14 %	(5) 	10	
	(6) 	4	

- tableau 11 -

Le schéma (1) consiste à faciliter le tracé en prenant l'objet à distance finie. Dans le schéma (2) le faisceau horizontal et parallèle suggère en même temps l'infini et la "distance à l'axe" [cf. plus haut la ligne (1) du tableau (9)]. Le schéma (3) suggère l'infini avec un rayon horizontal sans oublier la direction du bord supérieur sur l'axe secondaire. Le dernier schéma focalisé sur B(4) cumule les avantages des schémas (1) et (2). Ses partisans prennent B à distance finie avec un rayon parallèle à l'axe principal rappelant l'idée d'infini et un autre parallèle à l'axe secondaire qui passe par B indiquant ainsi sa direction.

Une tentative de tracé d'image globale se manifeste avec une proportion non négligeable (14 % du total); (10 % du total) parmi ces élèves prennent un faisceau particulier avec un rayon représentatif de chaque bord [fait également mis en évidence par les élèves d'Anderson (6)]. 4 % (du total) suggèrent une autre possibilité avec des rayons de direction quelconque mais toujours "représentatifs" des bords.

Cette question fait donc apparaître une majorité des réponses correctes (du point de vue de l'arrivée des faisceaux) mais suscite aussi des taux non négligeables de réponses de type "compromis graphique" focalisées selon les cas sur un point (hors de l'axe) ou sur un traitement global de l'objet étendu.

La qXII est intentionnellement présentée sous forme purement verbale. Comme la qXI elle impose à l'objet une forme et des dimensions angulaires mais ici l'élève est totalement laissé à lui-même pour la schématisation.

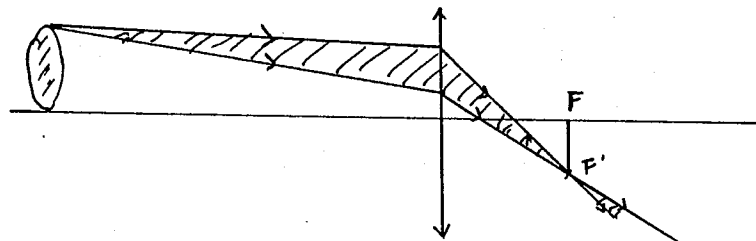
qXII || (L) est une lentille convergente dont l'axe principal est dirigé vers le bord inférieur du soleil, l'autre bord est alors sur un axe secondaire.
|| Tracer sur un schéma clair la marche des faisceaux provenant de chaque bord du soleil.

On retrouve ici les caractéristiques des résultats de la qX: C'est maintenant l'erreur qui domine et plutôt la diversité dans l'erreur.

Trois classes interrogées donnent là encore des résultats inhomogènes pour l'une d'elles.

Limitons nous aux caractéristiques essentielles:

- * Le taux des réponses correctes est de:
 - 26 % pour l'ensemble des classes (1) et (2) (d'effectif 30 élèves)
 - 5 % pour la classe (3) (d'effectif 21 élèves).
- * Le soleil est dessiné à distance finie, avec image au foyer, conformément au schéma suivant:



pour 12 % des étudiants [classe (1) et (2)] et 80 % des élèves de la classe (3). Ceci est évidemment une manifestation de la difficulté (2) évoquée plus haut.

Pour le reste la dispersion des réponses décourage d'en faire le compte-rendu.

→

Les sources angulairement étendues situées à l'infini sont, comme les sources ponctuelles, l'occasion d'erreurs d'autant plus fréquentes que l'élève est livré à lui-même pour effectuer son schéma, comme on pouvait s'y attendre.

Parmi ces erreurs on trouve des schémas assurant des compromis entre divers impératifs [il faut un rayon "parallèle" (souvent à l'axe)..., il faut une indication de direction angulaire], des schémas associant un faisceau à l'ensemble de la source, et le dessin de la source comme un objet à distance finie.

Récapitulation sur les difficultés liées à l'infini.
(étude exploratoire).

Les questions précédentes apportent une confirmation sur les difficultés liées à l'infini, qui sont dues à la nature angulaire des dimensions impliquées:

Difficulté (1) Le concept d'"objet ponctuel" à l'infini est difficile à appréhender dans la mesure où la schématisation associée suggère une certaine étendue (linéaire ou surfacique) et où l'objet lui-même ne saurait avoir une surface nulle.

Difficulté (2) Une source angulairement étendue à l'infini n'est pas susceptible de représentation figurative compatible avec la schématisation canonique.

Ces difficultés se cumulent avec celles que nous avons signalées précédemment, principalement celles-ci:

La correspondance "point à point" n'est pas située clairement par rapport à la correspondance globale "objet-image".

Ainsi:

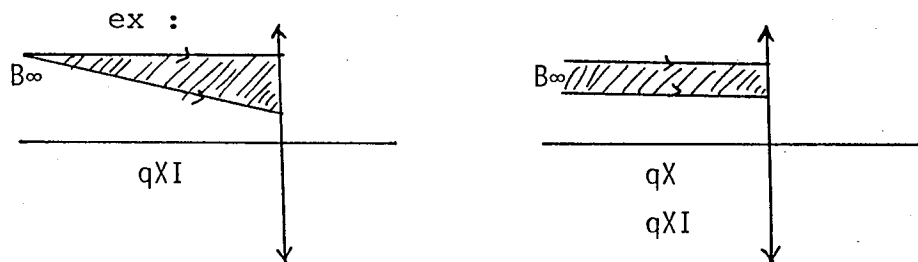
- Lorsque des éléments de schémas sont fournis, il font souvent l'objet d'une lecture fondée sur des automatismes non maîtrisés:

ex: les rayons s'arrêtent au foyer (qIX)

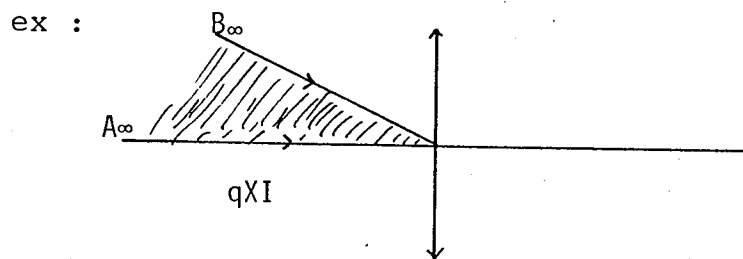
deux points sur un même rayon sont de ce fait conjugués (qIIe, qII f)

ou bien de récupération dans un schéma:

"de compromis"



ou "global"



- Lorsqu'aucun élément de schéma n'est fourni dans le texte, on voit apparaître des taux particulièrement importants - mais fluctuants selon les classes, de réponses associées respectivement aux difficultés:

- (1) ex: (qX) - Les élèves associent un objet ponctuel à l'infini (hors de l'axe) à une image étendue.

(2) ex: (qXII) - Les élèves dessinent le soleil à distance finie.

ainsi, bien sûr que, les types de schémas "de compromis" ou "globaux" évoqués ci-dessus.

CONCLUSION

De ces premiers résultats sur la formation de l'image il ressort qu'en dehors des situations tout à fait stéréotypées présentées habituellement en classe - chambre noire avec source étendue et trou, schématisation à deux rayons pour un couple objet-image, faisceau incident parallèle dont on demande où il converge - les élèves semblent déroutés par la moindre initiative à prendre en matière de schématisation ou d'interprétation. Le processus même de la formation de l'image avec correspondance point à point ne semble maîtrisé que par une faible proportion des élèves (ex 50 % en qIIc). En particulier cette correspondance ne semble pas distinguée par certains (ex. 41 % en qIIb) de la correspondance globale entre objet étendu et image étendue, comme le montrent les tentatives variées de concilier divers jeu de cônes pour les chambres noires, ou encore les affectations d'images étendues (continues) à un objet discret constitué de deux sources ponctuelles ou même d'une seule, en particulier si elle est située à l'infini. La correspondance point à point se réduit elle-même (pour un tiers des étudiants en qIq) à tracer un seul rayon entre ces deux points, et l'existence de l'image se déduit souvent simplement de la présence de tel ou tel mot clé ("écran", "système optique",) .

Le rôle très différent attribué au diaphragme annulaire et au cache circulaire central révèle que les rayons traditionnels de construction de l'image ont pour certains (ex. 38 % en qVII) un véritable rôle constitutif de l'image, au point que tout obstacle les arrêtant supprime aussi l'image.

Notons enfin la grande dispersion qui domine les réponses relatives aux problèmes de l'infini.

C'est dire que la manipulation intensive des formules de conjugaison à laquelle ces élèves ont été soumis n'épuise pas et de loin le concept d'image optique.

* * * * *

CHAPITRE III

LUMINOSITE - NETTETE.

1- Quelles définitions pour ces grandeurs ?

1. 1. LUMINOSITE.

Jusqu'au debut du XVII^{ème} siècle, la lumière était encore considérée comme une entité psychique liée directement à la philosophie . Un peu plus tard, la révolution scientifique l'emporta sur la philosophie, l'attention fût concentrée sur l'aspect physique de la vision et de la lumière et progressivement l'optique se développa. Avec l'optique la lumière est devenue une entité physique ayant une existence indépendante et l'on commence à supposer que celle-ci est constituée d'ondes et de corpuscules. Une nouvelle science la "photométrie" conduit à une mesure indirecte de la luminosité.

Les photomètres visuels (par opposition aux appareils mesurant directement des flux d'énergie) sont des appareils permettant des comparaisons à l'œil entre les éclairagements de deux plages éclairés l'une par une source que l'on contrôle, l'autre par celle que l'on étudie . Il s'agit donc de mesures indirectes où l'œil est utilisé mais uniquement comme instrument de contrôle d'une similarité d'éclairement. Nous rappelons en annexe à ce chapitre les définitions usuelles des grandeurs photométriques et des unités associées.

Il reste que l'analyse détaillée des impressions visuelles associées aux différentes valeurs de ces grandeurs se révèle une entreprise décourageante par le nombre des variables impliquées: composition spectrale de la lumière, ambiance environnante et contraste, âge, fatigue, état psychique.. de l'observateur... etc..

Nos allusions à la luminosité auprès des élèves interrogés restent dans le cadre résolument vague du sens commun. Nous nous bornons à

suggérer qu'un objet donné peut être "plus ou moins lumineux", le révélateur de cet état de fait étant la plupart du temps l'œil directement et parfois un écran. Aucun appareil de mesure n'est mis en jeu. En fait, pour un objet source la grandeur photométrique la plus proche de cette luminosité du sens commun est la luminance (ou brillance).

En effet l'évaluation de la luminosité d'un objet par l'œil dépend principalement de l'éclairement de la rétine- Or celui-ci (voir annexe) n'est fonction que de la luminance de l'objet et non de sa distance.

Cette luminance est invariante dans une transformation objet image dans la mesure où le système optique transmet toute l'énergie reçue . Lorsque l'image est reçue sur un écran diffusant, la luminance de celui-ci est fonction de son éclairement, donc à la fois de la luminance de l'objet et de l'ouverture du faisceau émergent.

1.2- NETTETE

La netteté dans les manuels de première n'a pas une définition explicite; on en parle directement sans définition préalable; on dira qu'une image est "plus ou moins nette", "plus ou moins floue" ou absente; on lie cette notion à certaines conditions imposées au système optique et au récepteur qui peut être soit un écran soit l'œil . Parfois on attribue la non-netteté de l'image à la taille des tâches-images qui correspondent à ce qu'on appelle des points-objets; très rarement on évoque leur chevauchement; on peut penser que l'élève s'habitue dans ces conditions à dire qu'une image est d'autant plus nette que ces conditions sont vérifiées sans trop savoir si elles doivent être prises séparément ou simultanément.

Dans le but de vérifier cette hypothèse nous avons posé à une soixantaine d'élèves de première une question ouverte sur la netteté . Le dépouillement de cette question nous a permis un premier inventaire des différents facteurs que les élèves lient à cette notion.

1.2.1 | Q, exploratoire. Qu'est-ce que la netteté?

Que comprenez-vous par netteté de l'image d'un objet, donnée par un système optique?

Le tableau (1) résume les différents types de réponses fournis par les élèves.

<div>Q →</div> <div>La netteté d'une image est liée à des: ↓</div>	exploratoire	
Conditions imposées au système optique	13	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total.
Conditions imposées à l'observateur	6	
Conditions imposées à la nature de l'image	21	
Conditions diverses	6	
Abstentions	54	
Effectif	63	

- tableau 1 -

Les élèves (13 %) qui attribuent la netteté de l'image à certaines conditions imposées au système optique parlent pour la plupart de stigmatisme rigoureux, certains évoquent la correspondance point à point, pas un seul ne rappelle les conditions de Gauss:

Et.1 *"L'image est nette quand le système est rigoureusement stigmatique".*

Et.26 *"Quand un système optique, donne d'un point objet un point image et un seul, l'image est dite nette".*

Ceux qui lient la netteté de l'image à certaines conditions imposées à l'observateur considèrent qu'une image est nette lorsqu'elle se forme dans le champ de vision distincte de l'observateur.

Et.4 *"L'image est nette lorsqu'elle est produite dans le champ de vision distincte de l'observateur".*

La plus grande proportion des élèves (21 %) qui ont formulé des réponses associe sans autre explication la netteté de l'image à sa formation sur un écran, au concours des rayons ou encore au fait qu'elle est réelle. Pour ces derniers une image virtuelle n'est jamais nette.

Et.8 *"Une image est nette lorsqu'elle est réelle".*

Et.10 *"Une image est nette quand elle est reçue sur un écran".*

La case intitulée "conditions diverses" contient des formules incompréhensibles qui disent par exemple "une image est nette quand elle est nette".

Une seule pourrait être, à la rigueur, interprétée comme liant la netteté et la luminosité. Elle attribue en effet la netteté de l'image à l'absence d'une réflexion partielle des rayons:

Et.13 *"L'image donnée par un système optique est nette lorsqu'il n'y a aucune réflexion des rayons qui partent de l'objet".*

Deux élèves parlent d'une vision facile, sans dérangement et qui conserve la forme de l'objet:

Et.11 *"La netteté c'est qu'on peut voir l'image d'un objet facilement et qui encore contient la forme de cet objet".*

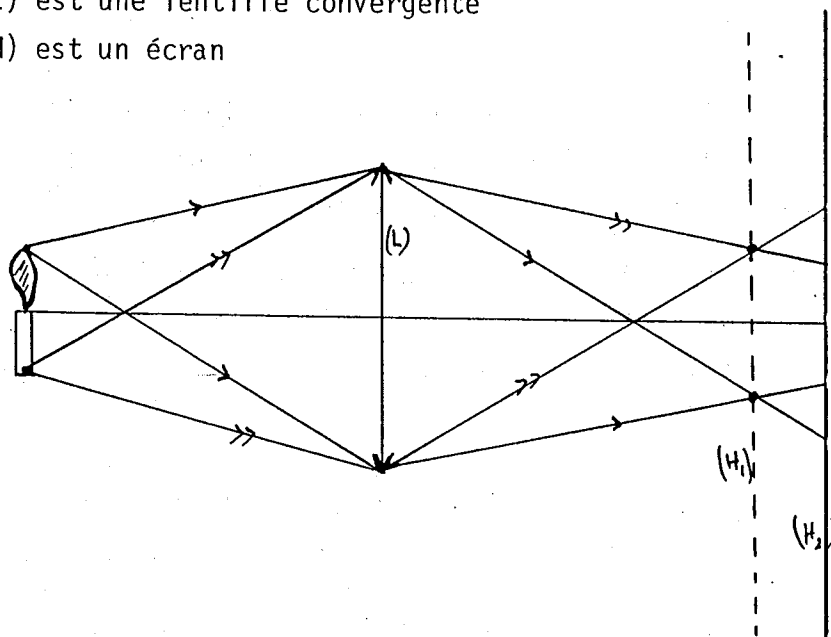
Le taux très élevé des abstentions confirme l'influence de l'absence de la définition explicite et claire de la netteté tant dans les manuels que dans l'expression de l'enseignant.

Les manuels traitant l'optique et destinés aux universitaires passent aussi rapidement sur la notion de netteté: on ne trouve presque pas des définitions explicites: Fleury.P. dans "images optiques" P.442, sans définir la netteté tend à "l'apprécier": "L'appréciation de la netteté des images dépend des facteurs divers en particulier du diamètre pupillaire... etc."

1.2.2. Netteté au sens classique

Il nous a paru intéressant de mettre en évidence la façon dont les sujets appréciaient l'influence sur la netteté de la taille des tâches et de leur chevauchement sur l'écran, point qui n'est pas du tout apparu à propos de la question exploratoire. Pour cela nous avons posé la qXIII, une question classique un peu modifiée.

qXIII | (L) est une lentille convergente
| (H) est un écran



a) H est dans la position H₁ ..

Que voit-on sur H₁ ? ...

Interpretez:

b) (H) est dans la position H₂ .

Que voit-on sur H₂ ? ..

Interpretez :

Les résultats obtenus groupés dans le tableau (2) montrent un écart dans les productions relatives aux deux positions distinctes de l'écran.

position de H →	H ₁ (position correcte)	H ₂ (un peu déplacé) vers la droite	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total
Image	86	17	
Image floue	3	34	
Pas d'image	3	36	
Abstentions , ou insignifiantes	8	13	
Effectif	91	91	

- tableau 2 -

L'unanimité presque totale sur l'existence de l'image quand l'écran se trouve dans la position correcte (86 %) disparaît pour la situation où l'on a déplacé l'écran. Deux catégories importantes apparaissent:

- Des étudiants disent toujours que l'image persiste en H₂: (17 % du total) admettent son existence sans commentaire; (34 % du total) évoquent l'influence de la taille des tâches-images et disent explicitement que l'image devient floue:

Et.1 *"On voit une image floue, car l'écran H₂ n'est pas situé à la distance nécessaire p' pour avoir l'image correcte".*

Et.13 *"Quand on éloigne l'écran, le point A₁ image de A devient flou et perd sa netteté car il devient une tâche plus grande que A₁ qui était un point clair et net, il en va de même pour B. Pour cela en H₂ on ne peut pas voir l'image nette comme en H₁".*

Et.43 *"L'image sur H₂ est une image qui n'est pas nette car l'écran se place derrière la position de l'image nette de cet objet".*

Ces trois commentaires montrent un véritable essai de distinction entre image et image floue. On voit même apparaître une distinction entre image et tâche-image:

Et.74 *"On voit sur H_2 une tâche-image, car lorsqu'on avait H en H_1 on a reçu une image nette sur l'écran quand on a éloigné H jusqu'à H_2 on n'avait plus une image mais une tâche-image".*

D'autres part nous avons constaté l'existence d'une compatibilité entre les expressions "tâche" et "image floue". La plupart de ceux qui ont dit l'image en H_2 devient floue, ont aussi dit que sur H_2 ils voyaient une tâche:

Et.37 *"En H_2 on voit une image mais n'est pas nette, car sur H_2 l'image d'un point n'est pas un point, c'est une tâche".*

Et.38 *"En H_2 on voit une image floue, c'est une tâche blanche".*

- Une autre catégorie regroupe les élèves qui considèrent que l'image est localisée exclusivement en H_1 ; hors de H_1 il ne peut pas y avoir d'image.

Et.12 *"En H_2 on voit une tâche lumineuse cette tâche n'est pas l'image de la bougie car l'image est le sommet du faisceau émergent, et le sommet du faisceau émergent n'existe pas en H_2 mais en H_1 ".*

Et.45 *"En H_2 il y a flou, pas d'image car les faisceaux ne convergent pas en H_2 ".*

Et.52 *"Non en H_2 pas d'image, car la bougie forme son image sur un seul écran H_1 ".*

Et.4 *"On voit une tâche sur H_2 , ce n'est pas une image car il a perdu sa netteté".*

Et.66 "On ne voit rien en H_2 car les faisceaux issus de AB ne se rencontrent qu'en un seul point ".

Et.23 "Non il n'y a pas d'image, il y a une tâche".

Ces derniers commentaires manifestent une difficulté majeure pour exprimer la signification de la netteté d'une "image". Celle-ci n'est admise que pour la position de l'écran dans le plan conjugué de l'objet, c'est à dire qu'une image n'est conçue que dans le processus scolaire purement mathématisé; si l'écran se déplace un petit peu à partir de la position correcte où l'image est vue nette, cette image disparaît, ou elle se transforme tout simplement en une tâche.

En résumé la netteté d'une image est, pour certains élèves, une grandeur susceptible de prendre différentes valeurs, de façon continue, alors que pour d'autres elle est une grandeur à deux valeurs, autrement dit qui varie par tout ou rien.

cette dernière catégorie est associée à la notion d' "image" sous-entendue "image nette" et rejette toute notion intermédiaire.

Ces deux catégories sont comparables en importance numérique.

1.2.3. Retour sur les informations recueillies par hasard.

Dans la question V (voir page 25) et la question IV (p.24) destinées à l'étude de la formation des images par la chambre noire, nous avons trouvé par hasard que certains élèves associent la netteté d'une image donnée par un système optique à sa luminosité. Ces informations furent dans la suite la base d'une étude comparative entre ces deux qualités de l'image. Nous avons eu alors l'idée de les traiter ensemble pour voir plus clairement jusqu'où va cette association dans les productions des élèves

Six élèves sur 58 soit (11 %) de la population dans qV ont évoqué cette association, leurs commentaires étaient:

qV-Et.40 *"Si on élargit le trou la luminosité augmente, l'image devient moins nette".*

qV-Et.59 *"Si on élargit le diaphragme l'image devient moins lumineuse et elle perd sa netteté".*

Remarquons que les deux étudiants pensent que la netteté diminue, mais l'un attribue cette diminution à l'augmentation de la luminosité et l'autre à la diminution de celle-ci.

Dans la qIV 6 sur 58 élèves ont fait la même association ..

(V et IV ont le même effectif, un seul des sujets est commun aux deux groupes).

qIV-Et.30 *"Si le trou est plus grand la luminosité croît, la netteté décroît".*

qIV-Et.45 *"Si on élargit on aura une tâche floue, la même quantité de lumière distribuée sur une surface plus grande, ainsi la tâche devient floue".*

qIV-Et.52 *"Si on élargit le fond sera moins éclairé, l'image devient moins nette car les rayons qui traversent le trou seront plus répandus."*

Les commentaires tirés de la qV et de la qIV vont se répéter avec une population différente; Dans les qVIII et qXIV (questions construites à partir des informations précédentes) les étudiants utilisent les mêmes phrases et les mêmes arguments; nous verrons dans la suite que l'"éblouissement" (diminution de la netteté de l'image lorsque la luminosité augmente), évoqué dans le cas de la chambre noire apparaît beaucoup plus clairement comme un facteur important lorsqu'il s'agit de la vision directe d'un objet, ou de la vision de l'image formée par un système optique sur un écran.

2. LUMINOSITE- NETTETE.

Les questions VIII et XIV qui traitent la luminosité et la netteté des images, furent le résultat direct des informations recueillies par hasard dans qV et qIV..

La population de ces questions est formée de trois classes de première au Liban, l'effectif total est de 83 élèves.

La qVIII destinée à l'étude de l'image reçue sur un écran figure déjà à la page (67). Elle est analogue à la qXIV qui suit, à ceci près qu'une lentille et un écran y remplacent le cristallin et la rétine..

T.S.V.P.
—————→

qXIV

Un œil normal regarde le filament d'une lampe situé à 2m. On considère l'image de ce filament sur la rétine de l'œil.

N.B. Expliquez-vous en détail, avec autant de schémas que possible.

<div> <div>questions →</div> <div>La caractéristique ci-dessous seule est changée ↓</div> </div>	1) Que devient la luminosité de l'image: -Elle augmente -Elle diminue Elle est inchangée Pourquoi?..	2) Que devient la netteté de l'image: -Elle augmente -Elle diminue. -Elle est inchangée Pourquoi?..
a) Le filament devient plus lumineux		
b) Le filament devient plus grand		
c) On rapproche le filament à 1 m de l'œil.	*	
d) l'œil regarde le filament à travers un trou d'épingle pratiqué dans un cache en carton.		

* Cette question ne figure pas dans la qVIII.

2.1 Dépouillement des qVIII et qXIV.

Dans le dépouillement d'un échantillon tiré au hasard sur la population des qVIII et qXIV nous avons constaté qu'une même réponse peut paraître dans plusieurs cases et que dans une même case il peut y avoir plusieurs réponses différentes qui traitent soit la luminosité de l'image, soit sa netteté, soit les deux associées. Le dépouillement a donc été fait en prenant les idées essentielles qui concernent notre thème pour arriver à une exploitation par idée et non pas par question. Sinon les informations qu'on aurait pu recueillir auraient été très abondantes mais inexploitable.

Les exemples suivants montrent bien que chaque réponse peut-être associée avec différentes justifications:

Pour qXIV dans a_2 : "La netteté est inchangée car l'objet reste à la même distance". Le même réponse paraît dans a_1 et b_1 .

a_2 : "La netteté augmente car le filament est plus lumineux".

a_2 : "La netteté est inchangée car l'objet a la même taille".

Dans l'exposé des résultats nous dégagerons d'abord l'aspect qui nous a guidé dans la construction de ces questions, à savoir la relation "Netteté-Luminosité". Répétons le, cette relation peut apparaître de façon inopinée dans à peu près chacune des sous-questions proposées, et les pourcentages que nous citerons pour telle ou telle de ses formes concernent les élèves ayant donné au moins une fois un commentaire du type indiqué.

Nous donnerons ensuite un résumé des principaux résultats concernant les autres facteurs qui sont censés influencer sur la luminosité d'une part, sur la netteté de l'autre.

2.2. Associations NETTETE- LUMINOSITE

L'association de la netteté de l'image avec la luminosité de l'objet, comme nous l'avons déjà mentionné au début de ce chapitre, fût l'une des informations les plus intéressantes que nous avons recueillie sur les justifications fournies par les élèves à des question relatives à la netteté de l'image formée par un système optique.

Dans le désir de voir jusqu'où va cette association nous avons construit les 2 questions VIII et XIV dans les-quelles nous avons posé aux élèves des questions analogues mais indépendantes sur la luminosité puis sur la netteté de l'image. L'interférence entre ces deux aspects apparaît largement dans les commentaires fournis par les élèves. La majorité des commentaires ont montré une forte association entre $(L - N)^*$ et plus précisément c'est pratiquement toujours la netteté qui varie en fonction de la luminosité. Le tableau (3) donne les résultats sur cette variation:

Relation explicitée →	Dépendance inverse		Dépendance Directe	Indépendance	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total
	N ↑ si L ↑	N ↑ si L ↓	N ↑ si L ↑ N ↓ si L ↓	N indépendante de L	
q VIII	17	5	37	7	
q XIV	62	25	35	4	

- tableau 3 -

L - Luminosité

N - Netteté

2.2.1 Dépendance inverse entre netteté et luminosité: "Eblouissement".

L'une des formes de cette association fût la "diminution de la netteté de l'image lorsque la luminosité de l'objet augmente". Certains élèves expriment spontanément l'idée d'éblouissement, ce qui nous a amené à baptiser ce type d'association (L-N) sous le nom d'"Eblouissement"...

La colonne (1) du tableau (3) donne les résultats à ce propos. Notons que ces résultats ont paru presque partout dans les colonnes qui traitent la netteté dans qVIII et qXIV.

On voit que l'influence de la forte luminosité est beaucoup plus importante lorsque le récepteur est l'œil. 62 % des élèves interrogés dans qXIV pensent que la netteté de l'image diminue lorsque la luminosité de l'objet augmente car la lumière éblouit l'œil. Avec la lentille le récepteur est inerte, c'est un écran qui diminue sensiblement l'effet de la lumière sur l'œil, le taux s'abaisse fortement, le pourcentage des élèves qui parlent d'éblouissement n'est que de (14 %).

Dans la qVIII, les élèves qui se rattachent à l'idée d'éblouissement ont fourni des justifications diversement détaillées:

La plupart associent sans autre explication, la diminution de la netteté à une augmentation de la luminosité de l'objet:

qVIII-Et.33 a_3 *"La netteté diminue à cause que l'objet est plus lumineux, l'image est toujours moins nette".*

qVIII-Et.41 a_3 *"La netteté diminue car d'autant que l'objet est plus lumineux son image est moins nette".*

- Quelques uns fournissent des éléments d'argumentation :

- L'étudiant 24 va dans sa confusion entre (L-N) jusqu'à utiliser les termes propres à l'un pour parler de l'autre, "obscur" ici veut dire "moins nette".

qVIII-Et.24 a₃ *"La netteté diminue car si la lumière est trop, l'image devient plus obscure".*

L'étudiant 46 pense que la forte lumière donne une bonne netteté comme elle peut la diminuer:

qVIII-Et46 a₃ *"Il y a deux possibilités, la netteté augmente ou diminue, car la lumière forte donne une bonne netteté ou elle diminue la netteté".*

L'étudiant 64 éclaire l'opinion de son camarade en disant qu'une petite augmentation de la luminosité rend l'image plus nette, mais que si l'augmentation est très grande l'image perd sa netteté:

qVIII-Et.64 a₃ *"Tout dépend du degré de Luminosité, si la lettre H est très lumineuse la netteté diminue et si elle est peu lumineuse l'image sera plus nette".*

L'étudiant 72 utilise pour exprimer son argument sur la diminution de la netteté des termes extraordinaires qui donnent à la lumière un aspect dynamique:

qVIII-Et72 a₃ *"La netteté de l'image va diminuer car si la force lumineuse de l'objet augmente sa tendance de propagation va augmenter et par suite la netteté de l'image tend à être de plus en plus faible".*

Dans la qXIV, les élèves (62 %) qui se rattachent à ce type de réponse donnent des commentaires plus variés et plus abondants. Les idées évoquées se répartissent sur différents arguments:

Quelques uns imposent à la luminosité une limite qu'il ne faut pas dépasser sinon les cellules de la rétine peuvent être détruites ou "oxydées".

- Et.78 a₂ *"La netteté de l'image diminue car la lumière devient plus forte et dans ce cas l'œil doit accommoder le cristallin afin d'empêcher la destruction des cellules de la rétine".*
- Et.77 a₂ *"Comme la luminosité augmente, la netteté de l'image diminue donc l'œil doit se contracter pour éviter l'oxydation des cellules visionnaires".*
- Et.46 a₂ *"La netteté diminue car la luminosité atteint un moment où l'image ne devient pas nette, elle augmente si elle ne dépasse pas la limite de luminosité".*

L'idée de l'accommodation qui diminue la netteté, transparaît dans ces derniers commentaires. C'est un facteur commun à des nombreuses réponses (22 % du total): "l'œil se contracte" mais cette contraction de l'iris est confondue avec l'accommodation, laquelle est improprement associée à une diminution de la netteté.

- qXIV-Et.16 a₂ *"La netteté diminue car la luminosité est plus forte alors les muscles de l'œil se contractent et la netteté de l'image diminue".*
- qXIV-Et.21 a₂ *"La netteté diminue car l'œil accomode pour éviter une partie de la lumière".*
- Et.42 c₂ *"La netteté de l'image diminue car pour voir cet objet l'œil doit accommoder".*
- Et.60 c₂ *"La netteté de l'image diminue car dans ce cas la forme du cristallin va varier en se contractant pour diminuer le nombre des rayons qui vont pénétrer dans l'œil".*

Pour le reste, les commentaires sont caractérisés par l'usage d'une variété de locutions verbales qui expriment l'éblouissement causé par la lumière forte.

L'étudiant 6 pense que la lumière dépasse la capacité de l'œil et "le fait éblouir":

Et.6 a_2 *"La netteté diminue car la quantité de lumière est plus grande que celle de la capacité de l'œil".*

c_2 *"La netteté diminue et fait éblouir l'œil".*

Citons encore à titre d'exemples certains commentaires du même type:

qXIV-Et.1 a_2 *"La netteté diminue car l'observateur n'a pas la peine de regarder cette forte lumière".*

qXIV-Et.7 a_2 *"La netteté diminue car l'une des conditions de la netteté c'est que la lumière soit réglée".*

qXIV-Et.17 a_2 *"La netteté diminue car la luminosité est forte, l'œil ne résiste pas".*

qXIV-Et.50 a_2 *"La netteté diminue car l'œil ne peut pas supporter une forte lumière".*

qXIV-Et.79 a_2 *"La netteté diminue car l'œil peut supporter une limite bien déterminée de lumière pour qu'il ne soit pas fatigué et si la lumière est plus grande que cette limite l'œil ne peut pas distinguer et voir nettement".*

Enfin l'étudiant 69 résume l'éblouissement avec des termes clairs et nets:

a_2 *"La netteté de l'image diminue si le filament devient très lumineux, mais elle augmente si la différence de luminosité n'est pas très grande".*

Notons pour conclure que l'œil comme récepteur vivant se montre dans l'esprit des élèves beaucoup plus sensible à la variation de la

luminosité (qui entraîne une variation de la netteté) dans le cas d'une réception directe que dans le cas d'une réception avec l'intervention d'un récepteur inerte.

Un autre aspect de la dépendance inverse (L-N) consiste à dire que la netteté de l'image croît lorsque la luminosité de l'objet diminue. Nous pouvons voir dans ce type de réponse (respectivement 5 % dans qVIII et 25 % dans qXIV) un autre aspect du registre "éblouissement" qui en est en quelque sorte l'inverse.

Les arguments fournis sur ce point par les élèves sont les mêmes que ceux de la catégorie précédente mais inversés. D'ailleurs les élèves qui mentionnent cette dépendance inverse, évoquent en majorité (80 % d'entre eux dans qXIV et 100 % d'entre eux dans qVIII) explicitement l'éblouissement dans une autre sous-question.

Pour la plupart, les réponses de ce type ont la forme suivante (17 % du total):

qVIII-Et.33 b₃ *"Oui sa netteté augmente car pour que l'image soit plus nette, toujours il faut un objet moins lumineux".*

L'étudiant 36 dans qXIV attribue l'augmentation de la netteté à la vérification des conditions de Gauss, mais n'oublie pas de nous rappeler que la lumière devient faible.

qXIV-Et.36 d₂ *"La netteté augmente car les conditions de Gauss sont vérifiées et la lumière qui pénètre est faible".*

On observe également quelques réponses (7 % du total) où la décontraction ^{du cristallin} improprement associée au réflexe pupillaire est liée à une augmentation de la netteté de l'image lorsque la luminosité provenant de l'objet diminue:

qXIV-Et.27 d₂ *"La netteté augmente car la lumière est maintenant plus faible, le cristallin se relâche".*

qXIV-Et.60 d₂ *"La netteté de l'image augmente car dans ce cas le cristallin ne se contracte pas, il prend sa forme ordinaire, laissant un nombre moyen de rayons pénétrer".*

qXIV-Et.62 a₂ *"Elle augmente si la lumière n'est pas dangereux pour l'œil".*

Pour certains l'existence du trou d'épingle dans la sous-question d₂ (qXIV) favorise la netteté; le trou ne laisse passer qu'une partie de la lumière par suite la netteté augmente.

qXIV-Et.38 d₂ *"Elle augmente car la lumière qui passe est petite donc elle peut recevoir toute la quantité de lumière".*

qXIV-Et.20 d₂ *"La netteté augmente car lorsque nous regardons le filament à travers le trou du carton les rayons qui émergent du filament ne se dirigent pas directement vers l'œil et la netteté augmente".*

Notons enfin que (60 %) de ceux qui disent que la netteté de l'image croît lorsque la luminosité de l'objet diminue pensent que le trou d'épingle pratiqué dans le cache de carton diminue le nombre des rayons.

2.2.2. Dépendance directe entre netteté et luminosité : "bon éclairage".

La liaison consiste ici à dire que la netteté de l'image croît lorsque la luminosité de l'objet augmente ou que la netteté décroît si la luminosité décroît.. Il y a là des commentaires diversement explicites.

- Une première catégorie de faible effectif, dans les cases (a_3 , qVIII) et (a_2 , qXIV) dans lesquelles nous demandons comment varie la netteté de l'image si l'objet devient plus lumineux, répond tout simplement par: "La netteté augmente, "elle augmente" ou "elle devient plus nette".

- Une deuxième catégorie qui constitue la majorité (39 % du total dans qVIII et qXIV) ajoute à la phrase précédente une autre qui évoque plus ou moins explicitement l'influence de la luminosité de l'objet:

qVIII - Et.11 a_3 "La netteté augmente car l'objet AB est plus lumineux
 \Rightarrow il en donne une image plus nette sur l'écran
 A'B' ".

qXIV - Et.48 a_2 "La netteté augmente car elle dépend de la luminosité"

qXIV - Et.35 d_2 "La netteté diminue car la luminosité est petite".

qVIII - Et.51 a_3 "La netteté augmente car plus les rayons sont forts
 plus que l'image est visible et elle devient plus
 nette pour la vision".

qVIII - Et.59 e_3 "La netteté diminue car la lumière reçue par l'œil
 n'est pas suffisante".

Le nombre des rayons issus de l'objet peut faire varier la netteté de l'image dans le même sens que la luminosité de l'objet:

qVIII - Et.62 b_3 "La netteté diminue car les rayons lumineux sont insuffisants pour la préciser".

qXIV - Et.68 a_2 "La netteté augmente car le nombre des rayons qui déterminent l'image augmente".

qXIV b_2 "La netteté diminue car le nombre des rayons qui déterminent l'image diminue".

- L'étudiant 37 dans la sous-question (a_3 , qVIII) compare l'ensemble (Lentille-écran) à l'œil et conclut que l'objet sera d'autant plus net et clair qu'il sera bien éclairé:

qVIII - Et.67 a_3 *"La netteté augmente car la lentille convergente est considérée comme le cristallin de l'œil et l'écran joue le rôle de la rétine et quand on fait projeter la lumière sur un objet on le voit plus clair".*

L'étudiant 69 évoque l'appareil photographique avec flash et au passage les conditions de Gauss.

qVIII - Et.69 a_3 *"Dans les conditions d'approximation de Gauss, la netteté augmente comme dans le cas de l'appareil photo et du flash".*

L'existence du diaphragme (dans d_3 , e_3 qVIII et d_2 , qXIV) est associée à un sous-ensemble de commentaires du type "variation directe" qui attribuent la diminution de la netteté de l'image au fait que l'œil ne reçoit plus tous les rayons qu'il recevait avant:

qVIII - Et.2 d_3 *"La netteté diminue car quelques rayons ne peuvent pas être recus par la lentille".*

qXIV d_2 *"La netteté diminue car l'œil ne reçoit pas les mêmes rayons précédents".*

12 % des étudiants dans qVIII et 20 % dans qXIV ont fourni des raisons semblables pour dire que la netteté de l'image diminue..

2.2.3. Indépendance entre N et L.

27 % des étudiants dans qVIII ont dit que N reste "inchangée" avec des commentaires qui se contentent majoritairement de répéter "elle est inchangée"; (7 % du total, seulement ont dit explicitement que la netteté de l'image ne dépend pas de la luminosité de l'objet.

qVIII - Et.14 a_3 "La netteté est inchangée car l'objet H donne une image nette sur un écran E quelque soit sa luminosité".

qVIII - Et.20 d_3 "La netteté de l'image est indépendante de la luminosité, elle est inchangée car elle donne une image de même netteté que l'objet".

3 élèves (4 %) seulement dans qXIV précisent explicitement que N ne dépend pas de L. Les autres (6 % du total) disent seulement "N est inchangée".

qXIV - Et.37 a_2 "La netteté reste inchangée car la netteté est indépendante de la luminosité".

qXIV - Et.53 b_2 "La netteté resté inchangée car le filament devient grand et sachant que sa lumière devient plus forte".

Récapitulation sur la relation Netteté-Luminosité

* Apparue sporadiquement à propos de questions sur les chambres noires, une dépendance entre netteté et luminosité est mentionnée, dans des questions portant sur ces grandeurs, par une forte proportion d'élèves (52 % dans le cas d'une image réelle reçue sur un écran, 97% dans le cas de la vision directe).

* Cette dépendance peut-être située dans l'un des registres suivants:

"éblouissement"- il s'agit alors d'une dépendance inverse: la netteté diminue si la luminosité augmente.

"bon éclairément" - il s'agit alors d'une dépendance directe: La netteté augmente si la luminosité augmente et diminue dans le cas contraire

Le premier registre est prépondérant dans le cas de la vision directe, et le second l'est dans le cas de la réception de l'image sur un écran.

- * La netteté n'est donc pas associée prioritairement, dans ces réponses, à un registre géométrique. Les commentaires explicitant l'indépendance entre la netteté et la luminosité (dans le cas de l'écran, dans le cas de la vision directe) suggèrent tout ou plus l'idée que "l'image nette sur un écran" (probablement au sens de la netteté absolue liée à une position correcte de l'écran), le reste quelque soit la luminosité.
- * On voit apparaître, au passage, une assimilation impropre de l'accommodation au réflexe pupillaire.

3- Quelques autres propriétés de la luminosité et de la netteté, manifestées dans les réponses aux qVIII et qXIV.

Le dépouillement détaillé de chaque sous question, nous l'avons dit, fait apparaître une relative dispersion des réponses et des commentaires associés. Une des raisons de cette dispersion est sans doute que les élèves répondent à des questions à propos des grandeurs qu'ils n'ont jamais été définies. Une autre raison possible est que l'élève peut avoir^{du} mal à ne faire varier qu'une des données du problème à la fois comme le demandait le texte.

Ainsi un objet plus grand sera-t-il implicitement considéré comme moins lumineux, ce qui est fait explicitement dans le commentaire suivant:

qXIV - Et.59 b_1 *"La luminosité de l'image diminue car si l'objet est plus grand, la résistance augmente, l'intensité diminue et aussi la luminosité".*

Aussi ne signalerons-nous ici que quelques effets massifs dans les réponses, assez prévisibles pour la plupart.

3-1 La luminosité de l'image croît avec celle de l'objet.

Pour 68 % des élèves dans le cas de l'image reçue sur un écran et pour 89 % lorsqu'il s'agit de vision directe. "L'optique vivante" réagit donc un peu plus manifestement que "l'optique inerte" à cette caractéristique de l'objet.

qXIV - Et.49 a_1 *"Plus le filament devient plus lumineux plus la luminosité de l'image augmente, car il y a concentration de la lumière sur les points de l'objet".*

qVIII - Et.31 a_2 *"La luminosité de l'image augmente car il y a plusieurs rayons qui traversent la lentille et qui s'approchent les uns des autres".*

qXIV - Et.15 a_1 *"La luminosité diminue car la force de la lumière est très forte".*

qVIII - Et.21 a_2 *"La luminosité diminue car une partie de la lumière est perdue par réflexion sur la lentille".*

3.2. La luminosité de l'image dans le cas de la vision directe croît avec la proximité de l'objet pour 64% des étudiants.

- qXIV - Et.1 c_1 "La luminosité de l'image augmente car l'objet sera plus proche de l'œil".
- qXIV - Et.5 c_1 "La luminosité de l'image augmente car en s'approchant de l'œil la lumière devient plus condensée par suite elle donne une image plus lumineuse bien que la lumière de l'objet n'a pas changée".
- qXIV - Et.60 c_1 "La luminosité de l'image augmente car le nombre des rayons augmente quand l'objet s'approche".

Cette réponse ne correspond pas à ce que la photométrie dit de l'éclairement de la rétine: celui-ci est indépendant de la position de l'objet. Elle coïncide en revanche avec ce que l'on peut dire du flux lumineux reçu.

3.3 La netteté de l'image reçue sur un écran décroît si l'on rapproche l'objet (l'écran étant fixe) pour 59% des élèves.

Cette réponse étant fortement associée à la notion de position "correcte" ou "conjuguée" définie par la formule $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$.

- qVIII - Et.31 a_3 "La netteté de l'image diminue, car l'écran et la lentille sont fixes, mais l'objet est déplacé donc la position de l'image varie".
- qVIII - Et.47 c_3 "La netteté de l'image diminue d'après la formule: $(\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'})$ l'image change de place et par suite on ne la voit pas nette".
- qVIII - Et.69 c_3 "L'image perd sa netteté car elle ne se forme pas sur l'écran exactement".

* * * * *

CHAPITRE IV

Systèmes optiques et vision des images .

Le dernier thème que nous nous sommes proposé d'étudier est celui de la liaison entre l'optique géométrique "inerte", ici celles des lentilles minces convergentes, et le mécanisme de la vision. Autrement dit nous souhaitons analyser dans quelle mesure les élèves perçoivent l'œil comme un système optique, transformable certes, mais analogue en partie à un ensemble lentille convergente-écran.

Nous avons déjà observé au chapitre III qu'un aspect de l'optique des élèves réservait à l'œil une propriété bien spécifique : celle d'être "ébloui". Cette propriété se traduit , rappelons-le par une dépendance inverse entre netteté et luminosité, que les élèves évoquent tout particulièrement dans le cas de la vision directe d'un objet. (62 % dans qXIV).

Nous avons noté également que le phénomène d'accommodation semblait compris par beaucoup d'élèves : (52 %) d'entre eux admettent que l'image rétinienne reste nette quand l'objet s'approche de l'œil , mais il arrive parfois que ce phénomène soit confondu avec le réflexe pupillaire.

Avant d'aborder notre investigation sur cette liaison entre l'optique inerte et la vision, on peut observer les limites auxquelles conduirait une assimilation totale de l'une à l'autre. Les illusions d'optique sont là pour rappeler de façon spectaculaire que l'optique géométrique n'est qu'un élément d'explication de ce que l'on voit, et que le cerveau a ses raisons que l'optique ne connaît point. La simple observation des images données par une lentille convergente n'est pas sans poser quelques questions. En particulier lorsqu'un objet éclairé est situé dans le plan focal objet de la lentille , l'œil situé de l'autre côté voit une image qui semble très voisine de l'objet. De même lorsque l'objet s'éloigne de la lentille, l'œil peut voir une image

renversée, conformément à ce que l'on attend, mais la localise spontanément sur ou derrière la lentille, alors qu'elle est située du même côté que l'œil.

Pour intéressants qu'ils soient, ces aspects paradoxaux ne seront pas pris en compte dans l'étude exploratoire qui suit. Nous nous limitons à l'analyse de la vision "au premier degré", c'est à dire celui où les milieux transparents de l'œil sont assimilables à une lentille simple dans l'air et où l'image perçue est une retranscription directe de celle qui est formée sur la rétine. Il nous semble utile d'étudier dans quelle mesure ce schéma simple de l'œil est bien maîtrisé et surtout intégré dans l'étude des systèmes optiques en général. Il est en effet frappant de voir que les chapitres et les exercices d'optiques de première au Liban se répartissent en deux groupes bien distincts : Ceux qui portent sur des systèmes optiques et instruments variés d'une part, ceux qui portent sur l'œil et la correction de la vision d'autre part. Dans le premier de ces groupes l'œil apparaît par un dessin figuratif en quelque sorte parachuté sur un schéma qui n'est en général pas à la même échelle.

On peut s'attendre dans ces conditions à ce que l'œil soit associé pour les élèves, à divers registres de raisonnement mal intégrés les uns aux autres.

1- Une première question exploratoire

Une lentille convergente forme l'image de la lune sur un écran.

Que voit-on si l'on place son œil à la place de l'écran ?

58 élèves de première furent invités à répondre à cette question. Les résultats confirment l'existence d'une difficulté sur ce point:

- * 40 % des élèves répondent que l'on verra la lune ou l'image de la lune, précisément comme celle qui se forme sur l'écran. Pour ces élèves l'œil s'identifie à un écran (récepteur) et nullement à un système optique.

Et.11 *"On voit l'image de la lune car l'œil se comporte comme un écran".*

Et.50 *"Si l'on place l'œil à la place de l'écran, la rétine de l'œil joue le rôle de l'écran et l'image de la lune paraît sur la rétine de l'œil".*

- * 15 % seulement ont dit que l'image de la lune donnée par la lentille convergente joue le rôle d'un objet (réel ou virtuel) pour l'œil, certains d'entre eux (6 élèves) évoquent la nécessité de la formation de A'B' dans le champ de vision distincte de l'œil :

Et.12 *"On voit très vague, on voit seulement de la lumière car aucun œil n'a une si petite distance minimale de vision distincte"*

Et.39 *"Si nous mettons notre œil à la place de l'écran on n'aura pas une image réelle et nette sur la rétine car l'image A'B' qui joue le rôle d'un objet par rapport à l'œil doit être dans les limites de vision distincte de l'œil pour qu'il puisse voir."*

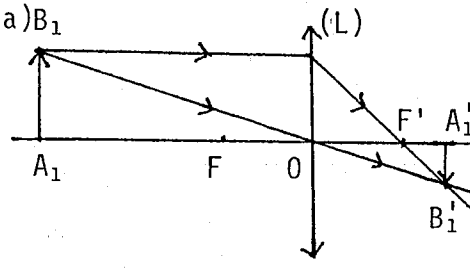
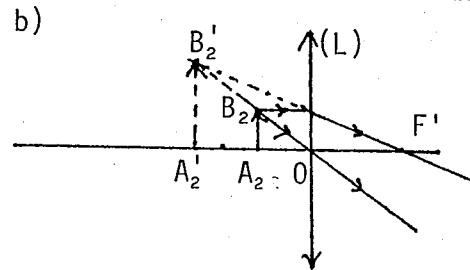
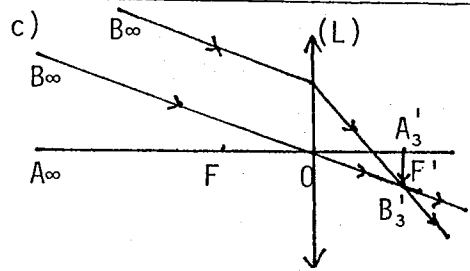
- * Enfin 5 % évoquent l'éblouissement de l'œil et le manque de netteté de l'image qui en résultera :

Et.21 *"Non on ne peut pas mettre notre œil à la place de l'écran car il y a une lumière forte qui traverse la lentille ce qui fait que l'image n'est pas nette".*

Et.57 *"L'œil placé à la place de l'écran va recevoir toute la quantité de lumière ainsi obtenue, on aura mal à l'œil et l'image de la lune n'est pas nette".*

Les résultats de cette première question nous ont poussé à explorer jusqu'où cette association entre œil et écran (récepteur).

2- Image réelle, virtuelle, œil et écran.

qXV	<p>Peut-on voir les images des objets</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>1) A l'aide d'un écran ?</p> <p>Si oui où doit-on le mettre? et Pourquoi?</p>	<p>2) Avec l'œil?</p> <p>Si oui, où doit-on le mettre? et Pourquoi?</p>
	<p>a) </p>		
	<p>b) </p>		
	<p>c) </p>		

Les questions de la première colonne a_1 , b_1 , c_1 entrent intégrale-
ment dans le cadre de l'apprentissage scolaire. Elles ont donné bien
à une unanimité presque totale sur le schéma (OUI-NON-OUI) (réponses
respectives aux trois questions) d'où il ressort qu'une image réelle
peut-être reçue sur un écran et une image virtuelle ne le peut pas.

Les résultats des questions de la seconde colonne ne font pas, en
revanche, apparaître d'unanimité. Sur le tableau (1) suivant figurent
les taux des réponses à la question "peut-on voir l'image ..." (trois
premières lignes) ainsi que les divers types de commentaires qui accom-
pagent ces réponses, avec les fréquences correspondantes:

XV (œil)		a_2	b_2	c_2	a_2 ou c_2	Les chiffres sont exprimés en % du nombre total
Réponses	Oui on peut voir l'image	66	50	62		
	Non on ne peut pas voir l'image	21	33	17		
	Abstentions	13	17	21		
Principales justifications	Oui si l'œil est sur l'image	24		28	36	
	Oui si l'image est dans le champ de vision distincte de l'œil	11	2	11		
	Dont; l'image joue le rôle d'objet pour l'œil	9	0	5		
	Oui, l'image virtuelle est visible		14			
	Non, l'image virtuelle est invisible		21			
	Foyer position critique (voir le texte)	17	21			
	Effectif	58	58	58		

- tableau 1 -

On pourrait attendre de l'apprentissage scolaire, qui associe toujours "image réelle" à "écran" et "image virtuelle" à "vision" que le schéma de réponses observé pour les questions a_1 , b_1 , c_1 qui concernent l'écran, s'inverse ici, pour donner respectivement NON en a_2 , OUI en b_2 , NON en c_2 .

D'ailleurs une vingtaine d'enseignants du secondaire au Liban, interrogés informellement, ont pratiquement tous fourni cette séquence de réponses, assortie du commentaire "une image réelle se reçoit toujours sur un écran".

Mais les élèves interrogés ne manifestent pas ce type d'automatisme (à l'exception de 4 étudiants sur 58).

Dans les cas a_2 et c_2 où les images sont réelles 66 % et 62 % respectivement des élèves répondent qu'on peut voir celles-ci avec l'œil seul. Plus du tiers d'entre eux (24 % et 28 % du total respectivement) ajoutent qu'il faut placer l'œil sur l'image pour la recevoir. Si l'on rassemble ceux qui ont donné ce dernier commentaire en réponse à l'une des deux questions au moins, on atteint 36 % du total.

Ces résultats rejoignent ceux de la question exploratoire mentionnée plus haut et confirment que l'assimilation de l'œil à un écran est un phénomène important dans cette population.

Citons :

Et.2 a_2 *"Oui il faut mettre l'œil de façon que la rétine se confond avec le plan de l'image $A_1'B_1'$ car l'image est réelle"*

Et.12 a_2 *"Oui car l'œil se comporte comme écran, on place l'œil de façon que les rayons émergents y entrent".*

Et.47 a_2, c_2 *"Oui si on met l'œil là où se forme l'image car cette image est réelle".*

On note avec surprise que les images virtuelles (question b_2) suscitent moins de réponses positives (OUI, on peut la voir à l'œil nu 50% du total) que les images réelles. Ces réponses sont accompagnées des commentaires suivants:

Et.13 b_2 *"Oui l'œil voit l'image virtuelle et on doit mettre l'œil face au faisceau pour que la quantité de lumière qui entre dans l'œil soit suffisante".*

Et.43 b_2 *"Oui on peut voir l'image de cet objet par l'œil car la lentille joue le rôle de loupe (seulement dans ce cas)".*

Les réponses négatives en b_2 (33 % du total) semblent associer les adjectifs "virtuels" et "invisibles", sans autre explication:

Et.2 b_2 *"Non car l'image est virtuelle".*

Et.51 b_2 *"On ne peut pas voir l'image $A_2'B_2'$ puisqu'elle est virtuelle".*

A ces résultats s'ajoutent les faibles taux de justifications évoquant les limites de vision distincte de l'œil ou même simplement le fait que l'image fournie par le système optique joue le rôle d'objet pour l'œil (lignes 5 et 6 du tableau (1)).

Et.1 a_2 *"Oui il faut placer l'œil de façon que l'image $A_1'B_1'$ qui joue le rôle d'un objet virtuel par rapport au cristallin a comme image, l'image formée sur la rétine".*

Et.10 b_2 *"Oui on peut voir l'image mais il faut que la distance entre l'œil et l'image soit plus grande que la distance minimale de vision distincte de l'œil".*

La vision est donc fort peu associée dans, l'ensemble des réponses, à l'idée d'une mise en série d'un système optique (l'œil) et d'un autre (la lentille).

La qXVI posée a une classe de 24 élèves aboutit à des résultats : proches de ceux obtenus pour la qXV. Ces résultats figurent dans le tableau (2).

		Oeil entre O et F'			Oeil en F'		Oeil sur A ₁ B ₁		Oeil au delà de F'		au delà de l'image réelle	
		a ₁	b ₁	c ₁	a ₂	b ₂	c ₂	a ₃	b ₃	c ₃	a ₄	
Réponses	Oui on voit l'image	33	67	41	33	75	75	62	50	62	54	
	Non, on ne voit pas l'image	67	33	59	67	25	25	38	50	38	42	
	abstentions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
Justifications	L'image doit être devant l'œil	40										
	L'image est liée aux limites de vision distincte de l'œil	17										
	Dont l'image joue le rôle d'objet pour l'œil	4										
	OUI, l'image virtuelle est visible	9										
	NON, l'image virtuelle n'est pas visible	14										
	Effectif	24										
Les chiffres sont exprimés en % du nombre total.												

Le premier résultat marquant est le faible taux (4 étudiant sur 24 soit 17 % seulement) d'élèves qui mentionnent le fait que l'œil voit l'image si celle-ci se forme dans le champ de vision distincte de l'œil. Encore les commentaires de ce type s'entendent-ils là, pour la plupart, sans analyser plus loin le rôle de l'œil. Un seul (4 %) précise que l'image joue le rôle d'objet pour l'œil, pour justifier une réponse négative en a_2 .

Et.14 a_2 *"Non car l'image de l'objet par rapport à (L) est réelle et joue le rôle d'un objet virtuel par rapport à l'œil et l'image reste derrière l'œil".*

Le doute subsiste donc quant à la compréhension que ces élèves ont du fonctionnement de l'œil. Le doute est confirmé par le fait que deux élèves seulement sur ces quatre élèves restent cohérents sur l'ensemble des sous-questions.

Assez curieusement la forme plus détaillée de la question fait apparaître ici un commentaire simple et plein de bon sens, mais qui n'en dit pas très long sur le mécanisme de la vision:

"On peut voir l'image, car elle est devant l'œil" (40 %)

Nous retiendrons donc que cette question confirme les résultats de la qXV précédente:

Dans ces questions où l'œil fonctionne en série avec un autre système optique, le rôle de l'œil dans le mécanisme de la vision ne semble précisément analysé que par une très faible proportion d'élèves.

Le détail des résultats dans chaque sous question est encore assez dispersé, malgré la forme plus spécifique du questionnement.

Les divers "pics" de fréquences observés dans les deux premières lignes du tableau (2) suggèrent l'existence à côté du raisonnement correct, de plusieurs critères de décision déjà évoqués plus-haut, suivant la correspondance suivante:

<u>Critère de décision</u>	<u>Fréquences de réponses observées</u>
* L'image doit-être devant l'oeil	$\left\{ \begin{array}{l} - 67 \% \text{ NON en } a_1 \text{ et en } a_2 \\ - 59 \% \text{ NON en } c_2 \\ - 62 \% \text{ OUI en } c_3 \\ - 54 \% \text{ OUI en } a_4 \end{array} \right.$
* et/ou virtuel = visible	$\left\{ \begin{array}{l} - 67 \% \text{ OUI en } b_1 \\ - 75 \% \text{ OUI en } b_2 \\ - 50 \% \text{ OUI en } b_3 \end{array} \right.$
* L'oeil s'identifie à un écran (récepteur)	$\left\{ \begin{array}{l} - 62 \% \text{ OUI en } a_3 \\ - 75 \% \text{ OUI en } c_2 \end{array} \right.$
* Le foyer, position privilégiée pour la vision.	$\left\{ \begin{array}{l} - 75 \% \text{ OUI en } c_2 \\ - 75 \% \text{ OUI en } b_1 \end{array} \right.$

Sans doute n'est-il pas nécessaire d'épiloguer sur chacun de ces critères, sinon peut être pour noter que le dernier d'entre eux, qui attribue une position critique au foyer pour la vision, apparaît principalement dans le cas de l'image virtuelle en b_2 . Les réponses à cette question manifestent très probablement un effet direct de l'enseignement de la loupe et de la définition de la puissance intrinsèque. En revanche dans le cas de la question c_2 , le fort pourcentage de réponses positives peut être attribué partiellement à l'association œil-écran.

Quelques rares réponses (4/24) manifestent une cohérence complète, soit sur la réponse partiellement correcte (2/24), soit sur l'un des critères plus en faveur que l'on vient d'évoquer (2/24). Ainsi cette réponse semble totalement déterminée par l'assimilation de l'œil à un écran:

Et.2 a_3c_2 "Oui car l'image est sur l'œil".

Dans les autres cases il a dit "NON" pour différentes causes mais compatible avec la même idée:

a_1a_2 "Non car l'image est après l'œil".

a_4c_3 "Non car l'image est avant l'œil".

$b_1b_2b_3$ "Non car l'image est virtuelle".

c_1 "Non sauf si l'image est en A'_3 ".

Mais pour l'essentiel, les réponses ne possèdent pas cette cohérence individuelle, ce qui contribue à expliquer la dispersion des résultats globaux; on observe en particulier plusieurs fois (4/24) le couplage des deux critères suivants: pour la réception de l'image réelle, l'œil est assimilé à un écran, quant à l'image virtuelle elle est visible parce qu'elle est "virtuelle".

En résumé, ces deux questions nous ont permis d'observer que les élèves n'analysent pas, dans leurs grande majorité, l'œil comme un système optique placé en série avec celui présenté dans le texte.

Les critères utilisés le plus souvent pour décider si un œil voit ou non l'image fournie par le système optique semblent être les suivants:

- 1) l'image est devant l'œil.
- 2) l'œil est assimilé à un écran (récepteur).
- 3) l'œil est placé au foyer (vision des images virtuelles)
- 4) l'image est invisible quand elle est virtuelle.
- 5) l'image est visible quand elle est virtuelle.

Il s'agit donc de critères tout à fait sommaires. Le premier révèle sans doute avant tout du bon sens commun, les troisième et cinquième de l'enseignement. Les second et quatrième restent les plus surprenants puisqu'ils ne relèvent de façon évidente ni du sens commun ni de l'enseignement.

Par ailleurs la plupart des élèves n'ont pas de la vision une conception stabilisée qui leur permette de donner, pour différents items de nos questionnaires, un ensemble de réponses qui soit cohérent avec un critère donné. Nous reviendrons plus loin sur cette absence de stabilité.

4- Le tracé du faisceau jusqu'à la rétine.

Nous avons souhaité provoquer les élèves à une analyse détaillée du rôle de l'œil par une question explicitement centrée sur ce point:

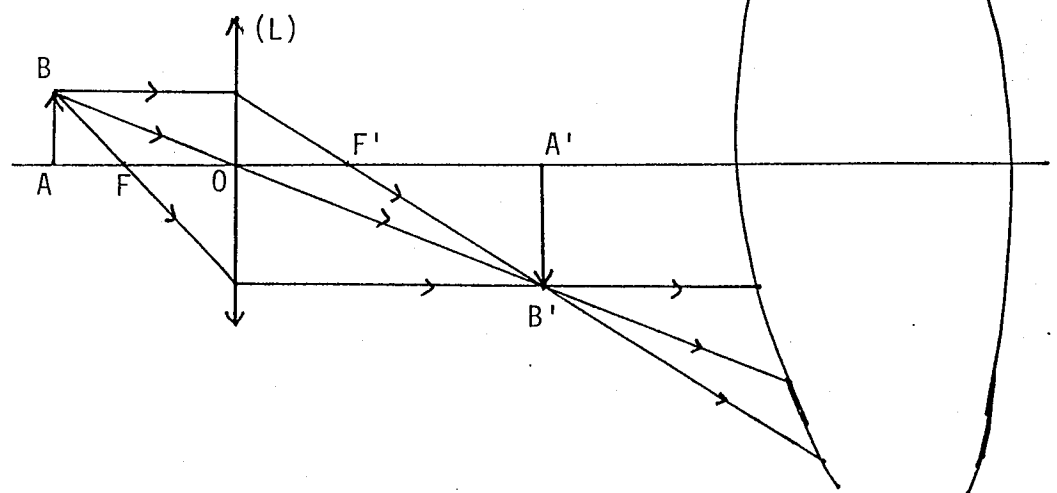
qXVII Dans les deux situations ci-dessous, on demande de construire soigneusement l'image qui se forme sur la rétine d'un œil placé dans la région limitée par les guillemets.

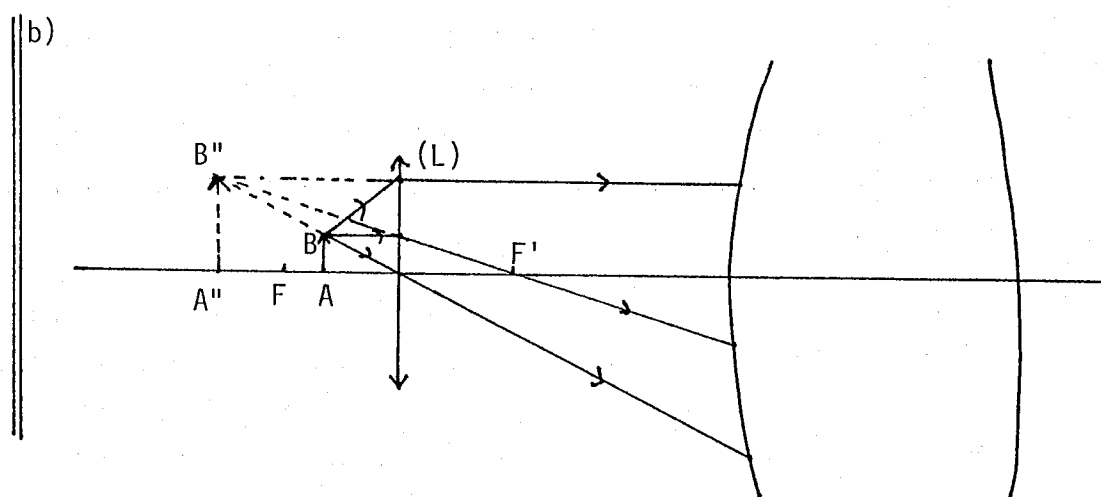
Dans les deux cas l'œil regarde l'image donnée par une lentille convergente:

Dans (a) l'image est réelle A'B'

Dans (b) l'image est virtuelle A''B''.

a)



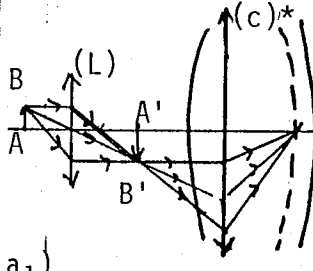
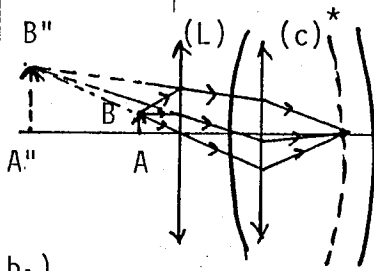
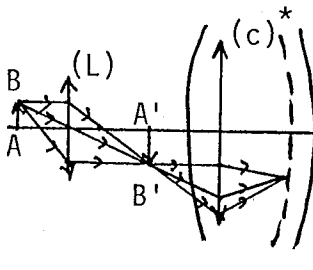
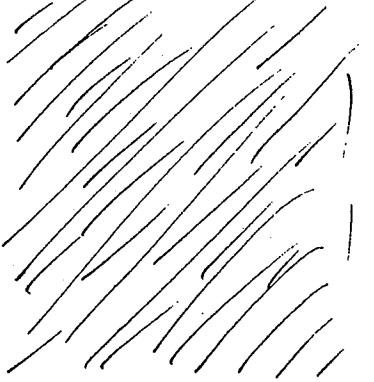
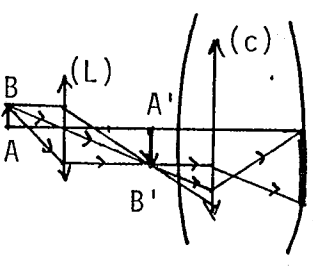
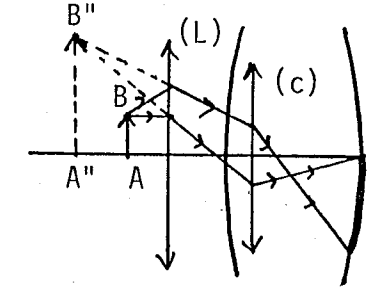


Cette question est comme les précédentes, susceptible de faire apparaître des différences dans les traitements réservés par les élèves aux images réelles et aux images virtuelles. Notons que sa forme est plus proche de celle des exercices scolaires habituels: On demande un schéma. Enfin elle paraît de prime abord beaucoup plus simple que les exercices traditionnels sur la correction des anomalies de l'œil (voir deux exemples en note* que 50 % environ des élèves de population analogue traitent correctement).

Les résultats sont resumés en tableau (3)



* Voir exercices classiques en annexe. II

	A'B' réelle	A''B'' vir- tuelle		
Tentatives de construction	66	61		
Abstentions	34	39	forme du schéma (A'B') forme du schéma (A''B'')	
A l'image de B correspond un point sur l'axe principal.	19	25		
dont convergence sur la rétine	6*	13*	a ₁)	b ₁)
A l'image de B correspond un point en dessous de l'axe principal (renversement ponctuel)	9	0		
dont convergence sur la rétine	6*	0	a ₂)	
A l'image de B correspond une image étendue sur la rétine et une rencontre en-dessous de l'axe principal (renversement global)	31	25		
			a ₃)	b ₃)
Commentaires évoquant verbalement le rôle de l'œil comme système optique	16	13	Tous les chiffres sont exprimés en % du nombre total.	
Effectif	32	32		

- tableau 3 -

On n'observe pas de différence importante entre ce qui concerne respectivement l'image réelle et l'image virtuelle.

Le fait le plus marquant est l'absence de la réponse correcte. Dans le cadre de cette question aucun étudiant ne remet en cause explicitement le fait que l'œil soit un système optique, ni ne semble l'assimiler à un écran. Mais l'idée même de la convergence d'un faisceau sur la rétine n'est explicitée sur le schéma que par six étudiants (dans un type de schéma a_1 , b_1 ou a_2 , pour lesquels les autres étudiants ne spécifient pas la position de la rétine).

On note au passage que les schémas a_1 et b_1 font converger sur l'axe principal un faisceau qui n'en provient pas: c'est là sans doute un reflet de l'habitude scolaire libanaise de ne considérer dans les exercices sur l'œil que des points sur l'axe.

La catégorie la plus représentée, qui figure en ligne 3 du tableau associe au faisceau issu du point B une image étendue, renversée, explicitement située sur la rétine (31 % pour le schéma a_3 , 25 % pour b_3). Les commentaires qui l'accompagnent sont souvent très explicites:

Et.1 a_1b *"AB joue le rôle d'un objet réel par rapport à la lentille qui me donne une image réelle. A'B' joue le rôle d'un objet réel par rapport au cristallin qui en donne une image réelle sur la rétine".*

Et.24 a *"L'œil est formé d'une lentille convergente et d'un écran, donc comme A'B' est une image réelle par rapport à la première lentille donc A'B' envoie des rayons, A'B' joue le rôle d'objet réel par rapport à l'œil qui va nous donner une image réelle sur la rétine. Ici l'œil voit.*

Et.25 a *"Image renversée plus petite que l'objet".*

L'œil y est bien considéré comme un système optique comme d'ailleurs dans la catégorie précédente et l'idée d'un renversement est présente quoique mal appliquée. Mais on retrouve l'association incorrecte d'une image étendue à un faisceau provenant d'une source ponctuelle (voir chapitre I page 40), et conjointement un schéma qui, au voisinage de la rétine, évoque le faisceau qu'un projecteur envoie sur un écran. Il faut noter que ces schémas sont plusieurs fois assortis de commentaires parfaitement orthodoxes:

- Et.1 a b *"A'B' ou A''B'' joue le rôle d'objet réel par rapport à la lentille convergente (cristallin) qui me donne une image réelle sur la rétine".*
- Et.24 a) *"L'œil est formé d'une lentille convergente et d'un écran, donc comme A'B' est une image réelle par rapport à la première lentille, donc A'B' envoie des rayons donc A'B' joue le rôle d'un objet réel par rapport à l'œil qui va nous donner une image réelle sur la rétine ici (l'œil voit)."*

Récapitulation sur l'analyse de la vision de l'image donnée par un système optique.

Les résultats de cette étude exploratoire se résument ainsi:

Les questions proposées, qui mettent toutes en jeu un œil en série avec une lentille, suscitent très peu d'analyses de l'œil en termes de système optique. La vision apparaît, à travers l'essentiel des réponses comme un phénomène non analysé, et qui obéit, selon les élèves et au gré des questions à l'un ou plusieurs des critères suivants:

- l'image observée est devant l'œil (sans plus de précision).
- l'œil est assimilé à un écran (visions des images réelles).
- l'œil est placé au foyer (vision des images virtuelles).
- l'image virtuelle est invisible.
- l'image virtuelle est visible.

Devant une question, les contraignant plus directement à analyser l'œil en termes de système optique, la plupart des élèves s'abstiennent ou échouent. Ces résultats sont d'autant plus surprenants que ces mêmes élèves sont familiers avec les exercices sur la correction des anomalies de l'œil, qu'ils réussissent raisonnablement bien.

Ceci suggère que l'analyse de l'œil en termes de système optique reste pour la plupart des élèves, très adhérente à un type d'exercice. La moindre perturbation dans le type de question posée semble balayer cette conception de l'œil et faire surgir des réponses beaucoup plus sommaires non intégrées en un système cohérent.

* * * * *

CONCLUSION

Consacrée aux difficultés liées aux notions d'image optique et de vision au niveau de la classe de première, cette étude permet de dégager celles qui demeurent, à la fin de l'enseignement de cette classe, sur chacun des points suivants: mécanisme de formation des "images" en chambre noire, relation objet-image dans le cas d'une lentille convergente mince, netteté et luminosité, enfin conception de l'œil en tant que système optique intégré à celui qui forme l'image.

Les résultats relatifs à ces points sont récapitulés à la fin de chacun des chapitres correspondants et il ne nous semble pas utile d'y revenir ici, sinon pour examiner maintenant en quoi ils peuvent guider l'enseignement de cette matière.

Les résultats obtenus peuvent être utilisés à divers niveaux. Le premier consiste à mesurer à leur juste valeur des difficultés plus ou moins soupçonnées sur des points que chacun s'accorde à vouloir enseigner.

Ainsi les difficultés liées à l'infini, on a vu combien les élèves étaient désorientés dès qu'il s'agissait de représenter eux mêmes un objet ponctuel situé hors de l'axe et un objet étendu situé à l'infini. Discriminer ces deux situations, associer faisceau parallèle (large !) et source ponctuelle, accepter l'absence de représentation figurative dans l'un et l'autre cas (source ponctuelle et étendue) sont autant de pierres d'achoppement qui laissent leurs traces dans nos résultats. Ceux-ci suggèrent l'intérêt d'exercices peut-être moins complexes que les exercices traditionnels mais où plus d'initiative soit exigée des élèves en matière de schématisation des faisceaux d'arrivée.

Mais au delà du constat immédiat et des premiers éléments de solution, ce thème de l'infini amène à un second niveau de réflexion: comment s'étonner que surgissent là des difficultés quand sur le thème plus simple de la correspondance objet-image à distance finie les questions de fond ne sont pas encore résolues? Nous l'avons vu, il n'est pas

simple de maîtriser les deux types de correspondances-correspondance point à point et correspondance globale - ni de les situer l'une par rapport à l'autre. Les exemples de confusions entre ces deux démarches abondent, même dans ce cas tout simple d'association d'un objet et d'une image tous deux à distance finie. Il suffit pour les faire surgir d'entendre, là aussi, la palette des exercices, et d'accepter de ne pas se limiter aux calculs de positions. Il nous semble que ce point fondamental - la maîtrise des deux types de correspondances - est un passage obligé pour la compréhension de toute l'imagerie optique élémentaire, en particulier bien sûr celle des objets à l'infini.

Nous en arrivons donc en fait à une réflexion sur les objectifs même de l'enseignement puisque nous sommes amenés à suggérer les suivants comme de toute première importance:

Savoir que dans le principe de la correspondance stigmatique entre objet et image (objet et image perpendiculaires à l'axe optique).

- Un point (objet) correspond à un point (image) selon le schéma de Képler.
- Un échantillonnage de rayons issus d'un point objet (par exemple les "rayons de construction") permet de se prononcer sur la convergence en un point image donné de tous les rayons issus du même point passant à travers la lentille.
- Un échantillonnage de couples de points objet-image permet de se prononcer sur l'ensemble de couples de points correspondants à l'objet entier et à l'image entière.

Ces objectifs sont atteints si les élèves répondent correctement, par exemple, à nos questions VI (image d'une bougie), VII et VIII (effet d'un cache central sur une lentille) ou II (couples objet-image) -- Ce n'est pas le cas général et de loin. Nous avons vu que l'un des obstacles rencontrés sur ces points était une grande difficulté à saisir le statut même du schéma en optique.

L'idée d'échantillonnage est présente à deux niveaux dans le principe de construction graphique de l'image: échantillonnage de rayons émergents d'un point, échantillonnage de couples de points objet-image. Or l'ensemble du schéma prend souvent, pour l'élève, un statut largement réaliste. Géométrique et donc de ce point de vue figuratif, le schéma comporte souvent des éléments qui le sont explicitement: objet dessiné fidèlement, œil saisissant de vérité. De ce fait, par contagion, les rayons de construction, ou les points nommés par des lettres, font parfois l'objet d'une lecture excessivement réaliste. D'échantillons commodes, ils deviennent éléments constitutif de l'image. Que le rayon central ne passe plus et l'image disparaît. Que le point A ne soit pas à l'extrémité de la bougie et l'image est tronquée. Il nous semble donc utile d'aider les élèves à comprendre ce qu'ils font avec leur schéma, par exemple en s'écartant par moments des règles du jeu aussi habituelles qu'implicites: les rayons de construction sont toujours les mêmes et souvent les seuls à figurer sur le schéma, objet et image sont toujours nantis d'un "pied" sur l'axe, le point A est toujours à l'extrémité de l'objet etc...

Répetons le: On peut calculer des positions et des tailles d'images sans faire ce détour et même apprendre les constructions graphiques types. Mais il nous semble douteux qu'on ait alors une compréhension de la notion d'image qui permette d'aller plus loin.

Si maintenant on considère comme acquise l'opportunité des objectifs d'enseignement cités plus haut, on ne peut pas ne pas s'interroger sur le choix de la chambre noire comme dispositif d'introduction à l'imagerie optique.

Ce choix nous l'avons dit, est largement répandu. Il a été fait en particulier au Liban - Les arguments principaux qui le sous-tendent sont la simplicité de réalisation de ce dispositif, et l'espoir que chaque élève aura pu en fabriquer un. Mais la simplicité de la réalisation masque la complexité conceptuelle. La chambre noire n'est pas à proprement parler un dispositif imageur, et si l'on voit bien une représentation de

l'objet sur le fond de la boîte, cette "image" n'est pas localisée.

Ce dispositif confronte l'élève avec une idée difficile: C'est un dispositif "limite". Que l'on élargisse, le trou et tout change: On n'obtiendra plus de forme spécifiée sur le fond de la boîte sinon, dans le cas où la source est ponctuelle, celle du diaphragme, en projection conique. Si nos questions sont difficiles, ce n'est effectivement pas parce que le dispositif de la chambre noire est encore trop complexe mais parce qu'il n'est pas adapté à l'introduction du concept d'image optique. Les échecs des élèves à ces questions, en effet, ne portent pas tant sur les prévisions qu'ils font quant à ce qu'ils verraient sur le fond de la boîte que sur l'interprétation qu'ils en donnent. Celle-ci associe beaucoup plus l'idée d'image à celle de reconnaissance de forme, y compris dans le cas d'une projection conique, qu'au schéma de Képler. Ceci nous semble remettre en cause l'idée que l'on doit introduire l'imagerie optique par une expérience aussi "faussement simple". La technologie de l'appareil photographique, celle du projecteur de diapositives sont peut-être plus complexes, mais elles nous semblent beaucoup plus directement instructives quand à ce qu'est une image optique.

L'un des arguments invoqués en faveur de la chambre noire est qu'elle fait apparaître, en quelque sorte négativement, le facteur "luminosité": l'"image" formée en chambre noire est si faiblement éclairée qu'il faut bien trouver autre chose.

Les lentilles entrent alors en scène. Il y aurait là une certaine logique, si l'aspect luminosité était effectivement partie intégrante des objectifs d'enseignement de l'optique en première. Nos résultats, notamment à propos de l'effet d'un cache central accolé sur une lentille, semblent indiquer que cet objectif n'a pas été retenu, ou bien a fait l'objet d'efforts insuffisants ou inefficaces.

Ces résultats donnent une idée des obstacles à surmonter si l'on choisit d'intégrer la notion de flux lumineux dans l'enseignement de l'optique géométrique élémentaire.

L'importance des rayons de construction doit être relativisée: d'éléments constitutifs de l'image, ils doivent reprendre le statut d'échantillons commodes. Alors seulement la géométrie des positions d'image cessera d'occuper tout le devant de la scène, et celle des flux d'énergie prendra quelque sens.

Ces deux aspects—géométrie des positions, étude des flux énergétiques—ne sont pas, d'emblée, clairement discriminés par les élèves. L'adhérence que nous avons observée—à propos de certaines questions (VIII et XIV)—entre les notions de luminosité et de netteté le montre bien, et l'on soupçonne évidemment que la physiologie n'y est pas étrangère.

On ne peut donc faire l'économie d'un minimum de définition de ces grandeurs.

Un certain consensus sur ce qu'est la netteté, et ce que l'on peut en dire aux élèves, reste à trouver.

L'introduction des aspects énergétiques dans l'enseignement de l'optique apparaît donc comme un objectif relativement coûteux. Si l'on considère qu'il est suffisamment important pour être retenu—c'est notre point de vue—il faut accepter d'en payer le prix et donc consacrer à cet aspect du temps, des définitions explicites, des manipulations, des exercices adaptés (du type des questions VIII et XIV) cela évidemment au détriment d'exercices plus sophistiqués sur les positions d'images.

Enfin notre travail aborde la question de l'œil et de son insertion dans un système optique imageur. Là encore les résultats peuvent se lire à différents niveaux.

On pourra y trouver l'indication des déficiences dans la compréhension des élèves sur ce point. L'œil apparaît souvent comme un récepteur au fonctionnement non analysé, à placer à la position même de l'image que fournit le système optique étudié. Parfois se fait jour l'amorce, sans plus, d'une analyse et l'on apprend que l'image doit être devant l'œil pour être vue. Parfois encore la compréhension de l'élève semble

se réduire à des associations de mots "virtuel-visible".

Mettre le doigt sur ces lacunes est un début de remède, et nos questions peuvent y contribuer. Mais on voit bien que là encore il y a un choix d'objectif en cause. Décide-t-on d'amener les élèves à une compréhension modeste mais unifiée de l'imagerie optique élémentaire, œil (réduit) compris, ou bien les dresse-t-on à calculer des positions d'images d'un côté, et des focales de verres de lunettes de l'autre ? Il est extrêmement surprenant que ce dernier choix conduise à de réels succès sur un certain nombre d'exercices type tout en laissant tant d'élèves désorientés devant des questions en apparence élémentaires. On en arrive là à un troisième niveau de conclusion, qui s'applique d'ailleurs, en gros, à l'ensemble de nos résultats.

Dans d'autres domaines de la physique, la mécanique ou l'électricité, des études du même type que celle-ci ont fait apparaître des modes de raisonnement d'origine extra-scolaire, "spontanés" pour dire vite, relativement structurés et cohérents, ces raisonnements se révèlent tenaces et subsistent le plus souvent parallèlement aux acquis proprement scolaires, parfois d'ailleurs renforcés subrepticement par ces derniers. Rien de tel ici.

L'impression que l'on retire de cette étude est celle d'une compréhension de l'optique morcelée, marquée de nombreux automatismes d'origine scolaire, et sans doute aussi d'acquis extra-scolaires, ensemble inhomogène de savoir-faires chacun très adhérents à un type d'exercice. Il y a l'œil-des-exercices-sur-la-myopie, l'œil-placé-au-foyer-de-la-loupe et l'œil-écran; il y a la netteté de l'image quand l'écran est au bon endroit et la netteté de l'image éclairée ni trop ni trop peu; il y a les nécessités physiques—la lumière doit remplir le trou de la chambre noire—et les nécessités "institutionnelles"—le rayon de construction doit passer; l'accommodation des punctum Proximum et Remotum et celle du réflexe pupillaire; l'écran qui reçoit l'image et l'écran qui crée l'image en l'absence de lentille etc ..

S'il fallait résumer en une phrase la direction dans laquelle il nous semble utile de progresser nous pourrions avancer celle-ci: il faudrait "réconcilier" l'optique.

Nous avons évoqué dans cette conclusion des éléments susceptibles d'y contribuer: prise de conscience des difficultés (questionnaires à l'appui), choix d'objectifs pédagogiques bien spécifiés plus modestes sur certains points (calculs de positions) et plus ambitieux sur d'autres (correspondance objet-image, étude des faisceaux, schématisation plus autonome, compréhension de l'interface œil-système optique inerte), prudence sur la chambre noire.... Faut-il terminer sur une évidence, qui ne doit rien à notre travail? L'élément probablement le plus déterminant n'a pas été encore évoqué. Il s'agit du travail pratique. L'optique est un domaine privilégié de confrontation entre une description formelle de système physique et des effets directement accessibles à travers des manipulations simples.

L'élève scandalisé par la réponse correcte à la question ^{VII} peut mettre lui-même une pièce de 5 piastres sur la lentille de son projecteur de diapositives, et juger de l'effet- C'est ce qui fait de l'optique géométrique élémentaire un domaine potentiellement très formateur - pourvu qu'on l'exploite pour ce qu'il est.

Nous souhaitons que ce travail exploratoire puisse y contribuer.

* * * * *

B I B L I O G R A P H I E

- (1) RONCHI V. L'optique science de la vision
Masson et Cie PARIS 1966
- (2) PIAGET J. Understanding causality
New-york- Norton and Co 1974 .
- (3) TIBERGHIE A. , DELACOTE G. ; GHIGLIONE R. , et MATALON B.
Conception de la lumière chez l'enfant 10-12 ans
L.I.R.E.S.P.T PARIS VII 1977
- (4) GUESNE E. , TIBERGHIE A. et DELACOTE G.
Méthodes et résultats concernant l'analyse des con-
ceptions des élèves dans différents domaines de
la physique: Deux exemples:
Les notions de chaleur et de lumière
L.I.R.E.S.P.T. Université PARIS VII.
Paru dans Revue française de pédagogie n° 45-1978.
- (5) GUESNE E. Lumière et vision des objets: Un exemple de rép-
resentation des phénomènes physiques pré-existant
à l'enseignement.
Proceedings of GIRP. G.Delacote (Editor).
Taylor and Francis. LONDON 1976.
- (6) ANDERSON B. and KARRQVIST ch.
Light and its properties
EKNA report n° 8
University of Göteborg MÖLNDALE 1982.
- (7) STEAD B. and OSBORNE R.
Exploring Science students-Concept of light:
Victoria University of Wellington.
New Zealand 1979.

- (8) JUNG W. Conceptual Frameworks in Elementary optics.
Proceedings of an international workshop
Ludwigsburg-Goethe University Frankfurt 1981.
- (9) GOLDBERG F. and McDERMOTT L.
Common sense knowledge versus formal physics
knowledge in geometrical optics.
University of Washington 1984 .
- (10) LEON A. et al. Manuel de psychopédagogie expérimentale .
PARIS P.U.F. 1977.
- (11) GHIGLIONE R. et MATALON B.
Enquêtes sociologiques.
PARIS Colin 1978.
- (12) DE LANDSHEERE G.
Introduction à la recherche en éducation
LIEGE, Georges Thone 3ème édition 1970.
- (13) CLOSSET J-L Le raisonnement séquentiel en électrocinétique.
Thèse 3ème cycle.
L.D.P.E.S. Université PARIS VII 1983.
- (14) HADADAH K.
Université PARIS VII 1984.
- (15) VIENNOT L. Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire.
PARIS Hermann 1979.
Thèse d'état Université PARIS VII 1977 .
- (16) GUESNE E. Un modèle qualitatif: la formation des images par
une lentille convergente.
L.I.R.E.S.P.T Université PARIS VII.
Paru dans "Physics Teaching in schools"
Montpellier 1976.

- (17) GIRAUD Ch. La chambre noire
B.U.P. n° P. (521-524)
- (18) BRUHAT M. et KASTLER A.
Optique 6ème édition.
Masson 1965 .
- (19) JOUANISSON R et FABRE G.
Quelques expériences réalisables à l'aide d'un
LASER .
B.U.P. n° P.(563-585)
- (20) GARBAGNATI G. et RUEFF P.
Sur la notion d'image en optique
B.U.P. n° P.(429-441)
- (21) PRAT R. La lumière et l'optique
Edition du Seuil - PARIS 1962.

* * * * *

ANNEXE I

PHYSIQUE

Programme détaillé de la deuxième année secondaire.

I- OPTIQUE

I. PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIERE.

- 1) Sources lumineuses; corps éclairés.
- 2) Corps transparents, opaques et translucides.
- 3) Principe de la propagation rectiligne de la lumière (dans un milieu transparent, homogène et isotrope); célérité de la lumière.
- 4) Rayons, faisceaux (parallèle, divergent, convergent); pinceaux. Ombres, pénombres, éclipses.
- 5) Objet réel, image réelle; objet virtuel, image virtuelle.
- 6) Applications: visées, jalonement, chambre noire (notion d'image), diamètre apparent d'un objet.
- 7) Objet de l'optique géométrique.

II. REFLEXION.

- 1) Une expérience de réflexion.
- 2) Définitions de: surface réfléchissante, rayon incident, point d'incidence, plan d'incidence, normale, angle d'incidence, rayon réfléchi, angle de réflexion.
- 3) Lois de la réflexion: énoncés, vérifications expérimentales.
- 4) Principe du retour inverse de la lumière.

III. MIROIR PLAN (avec tous les détails).

IV-MIROIRS SPHERIQUES.

- a) MIROIRS CONCAVES (avec tous les détails).
- b) MIROIRS CONVEXES (avec tous les détails).

V. REFRACTION.

- 1) Une expérience de réfraction.
- 2) Définitions de: réfraction, dioptre, rayon incident, point d'incidence, normale, plan d'incidence, rayon réfracté, angle d'incidence, angle de réfraction, angle de déviation.
- 3) Lois de la réfraction (Descartes-Snell): énoncés, vérifications expérimentales, lois de Kepler.
- 4) Indices relatifs et indices absolus; forme symétrique de la loi de Descartes-Snell.
- 5) Discussion de la loi de Descartes-Snell
 - a) Passage de la lumière d'un milieu dans un autre plus réfringent: angle limite de réfraction.
 - b) Passage de la lumière d'un milieu dans un autre moins réfringent: angle limite d'incidence, réflexion totale.
 - c) Applications de la réflexion totale: fontaines lumineuses, prisme de réflexion totale, mirage.

VI. DIOPTRE PLAN. (avec tous les détails).

VII. LAME A FACES PARALLELES (avec tous les détails).

VIII. PRISME (avec tous les détails).

IX. LENTILLES SPHERIQUES MINCES

- 1) Définition
- 2) Définitions de: rayons de courbure, axe principal, section principale, diamètre d'ouverture, épaisseur.
- 3) Classification: à bords minces et à bords épais; représentation conventionnelle.
 - a) LENTILLE CONVERGENTE
 - 1) Marche d'un rayon lumineux:
 - en général: déviation vers l'axe (assimilation de la lentille avec un prisme de petit angle).
 - centre optique: a) définition et existence théorique (assimilation de la lentille avec une lame à face parallèles).

- b) pratiquement: rencontre de la lentille avec son axe principal et pas de déviation.
 - c) axes secondaires.
 - vérifications expérimentales.
- 2) Conditions pour obtenir de bonnes images.
 - 3) Foyers principaux:
 - a- foyer image: étude expérimentale; propriété, distance focale.
 - b- foyer objet: étude expérimentale; propriété.
 - 4) Foyers secondaires: plan focaux. Image d'un objet à l'infini.
 - 5) Construction de l'image d'un point objet, réel ou virtuel, situé ou non sur l'axe principal.
 - 6) Etude expérimentale de la formation de l'image d'un objet pour les différentes positions de cet objet.
 - 7) Formules:
 - a) Formules de Descartes; b) Formules de Newton.
 - 8) Applications: collimateur, loupe, instruments d'optique.
- b) 1-7 (voir LENTILLES CONVERGENTES).
- 8) Verres correcteurs de la vue, lunette de Galilée.

X- CONVERGENCE OU VERGENCE (avec tous les détails).

XI-FOCOMETRIE (avec tous les détails)

XII-APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE (avec des détails)

XIII-OEIL ET VISION

- 1) Etude sommaire de la construction et du fonctionnement de l'œil.
- 2) Œil réduit (comparaison avec un appareil photographique).
- 3) Accommodation. Punctum remotum et punctum proximum d'un œil normal.
- 4) Défauts de l'œil.
 - a) Œil myope; verre correcteur.

- b) Œil hypermétrope ; verre correcteur.
- c) Œil presbyte ; verre correcteur.
- d) Œil astigmatique ; verre correcteur (notion sommaire).
- 5) Pouvoir séparateur (ou acuité visuelle).

XIV. LA LOUPE (avec des détails).

XV. LE MICROSCOPE (avec des détails).

XVI. LUNETTE ASTRONOMIQUE (avec des détails).

XVII. LA LUNETTE DE GALILEE (avec des détails).

* * * * *

ANNEXE II

Exercices classiques donnés aux épreuves officielles de la première partie du baccalauréat libanais:

- I) Un œil myope voit distinctement entre 9 cm et 51 cm. Trouver la nature et la vergence de la lentille mince correctrice, qu'il faut placer à 1 cm de l'œil. Que devient alors la distance minimale de vision distincte de l'œil corrigé?
- II) Un objet lumineux A est situé sur l'axe principal d'une lentille mince convergente L_1 , de distance focale 30 cm, A étant à 50 cm du centre optique de L_1 . A 80 cm derrière L_1 est placée une lentille mince divergente L_2 , de 20 cm de distance focale; les deux lentilles ont même axe principal. Déterminer la position et la nature de l'image définitive de A donnée par le système $(L_1 + L_2)$. Tracer la marche d'un faisceau lumineux issu de A.
- III) On donne une lentille convergente L de 24 cm de distance focale.
- 1) A quelle distance de L faut-il placer un objet réel, si l'on désire obtenir une image virtuelle quatre fois plus grande que l'objet?
Quelle est alors la distance de l'objet à son image?
 - 2) Un hypermétrope utilise L comme verre correcteur qu'il place à 1 cm de son œil.
Il voit alors nettement entre l'infini et 13 cm. Déterminer les limites de vision distincte de l'œil nu.
- IV) On dispose d'une lentille mince convergente L, de distance focale $f = 20$ cm, et d'un objet $AB = 2$ cm qu'on supposera, dans tout le problème, disposée normalement à l'axe principal de L.
- On place AB à 25 cm de L:
- a) Déterminer la position, la nature et la grandeur de l'image de

AB donnée par L.

- b) On dispose ensuite entre AB et L , normalement à l'axe principal de L, une lame à faces parallèles P, d'épaisseur 3 cm et d'indice de réfraction $\frac{3}{2}$. Determiner la position , la nature et la grandeur de l'image de AB donnée par le système (P+L).

* * * * *

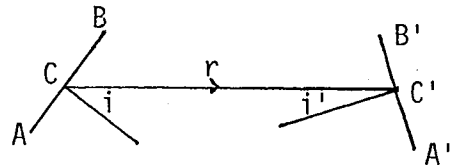
ANNEXE III

Définitions et mesures photométriques

1- Étendue d'un faisceau:

ds (AB) est une petite partie d'une source lumineuse isolée par un diaphragme.

ds' (A'B') est une partie du faisceau lumineux provenant de AB et admis dans l'instrument d'optique imageur .



i et i' sont respectivement les angles que fait le rayon moyen CC' du faisceau ainsi isolé, avec les normales à ds et ds' .

L'étendue du faisceau, qui caractérise la quantité des rayons contenus dans ce faisceau est donnée dans l'air par l'expression:

$$dU = \frac{ds \, ds' \cos i \cos i'}{r^2} \quad \text{où } r = CC'$$

2- Définitions photométriques: Unités.

L'étendue d'un faisceau le caractérise du point de vue géométrique. Du point de vue physique, deux faisceaux de même étendue provenant d'un arc électrique et d'une flamme de bougie ne sont pas identiques. Il faut donc prendre en compte la nature de la source en introduisant un coefficient qui caractérise le flux lumineux émis par cette source.

La photométrie caractérise un faisceau lumineux élémentaire émis par une portion (AB) de la surface d'une source lumineuse dans la direction CC' , par:

$$d\phi = B \, du = B \frac{ds \, ds' \cos i \cos i'}{r^2}$$

où B est un coefficient qui ne dépend que de la nature de la source et de la direction d'émission.

B s'appelle la luminance de la source dans la direction CC' .

$d\phi$ est le flux lumineux transportée par le faisceau élémentaire.

Le flux est une grandeur mesurable (Unité: LUMEN)

Le flux total $d\phi$ reçu par une surface ds' éclairée par une source S est donné par:

$$d\phi = \iint_S d\phi = \iint_S B \frac{ds ds' \cos i \cos i'}{r^2}$$

S supposée assez éloignée $\Rightarrow r$ et i' ont même valeur pour tous les faisceaux élémentaires donc:

$$d\phi = \frac{\cos i' ds'}{r^2} \iint_S B ds \cos i = \frac{\cos i' ds'}{r^2} I.$$

avec $I = \iint_S B ds \cos i$ cette quantité s'appelle intensité lumineuse de la source S dans la direction CC' .

* L'unité légale de l'intensité lumineuse est la CANDELA*

* Le "LUMEN" sera alors le flux lumineux rayonné par une source d'intensité une CANDELA dans un angle solide $\left[d\omega = \frac{ds' \cos i'}{r^2} \right]$ égal à l'unité.

* L'unité de la luminance est le "NIT" qui correspond à une candela par m^2 (cd/m^2).

Un écran disposé suivant $(A'B')$ ds' reçoit par chaque unité de sa surface un flux lumineux $e = \frac{d\phi}{ds'} = I \frac{\cos i'}{r^2}$

" e " s'appelle éclairage de l'écran, c'est aussi une grandeur mesurable, son unité légale est le LUX qui est l'éclairage d'un écran de $1 m^2$ de surface recevant un flux de 1 LUMEN uniformément réparti.

* CANDELA = $\frac{1}{60}$ de l'intensité lumineuse d'un cm^2 de la surface d'un "corps noir" porté à la température de fusion du platine $2046^\circ K$.

L'aspect d'un écran diffusant éclairé sous un angle donné ne dépend que de son éclairement "e".

Cette hypothèse et celle de la conservation du flux lumineux, furent la base des mesures photométriques. La lumière y prend un aspect énergétique. En effet la puissance transportée par le faisceau est proportionnelle au flux lumineux $d\phi$ et l'éclairement est donc proportionnel à l'énergie reçue par unité de surface de l'écran et par unité de temps.

3) Luminance et éclairement des images.

Un faisceau lumineux d'étendue dU , limité, dans l'air par $[AB]$ ds et $[A'B']$ ds' , traverse un système optique; il fournit à l'émergence supposée aussi dans l'air, un faisceau défini par $[A_1B_1]$ ds_1 et $[A'_1B'_1]$ ds'_1 qui sont les images de deux premières. Ce faisceau a la même étendue dU que le faisceau incident et transporte, en vertu du principe de la conservation, le même flux $d\phi$ que le faisceau initial:

$$\left. \begin{array}{l} \text{pour la source } ds \text{ on a } d\phi = B \, du \\ \text{pour son image } ds_1 \text{ on a } d\phi = B_1 \, du \end{array} \right\} \Rightarrow B_1 = B .$$

Donc une source et son image dans un système optique et dans une direction donnée ont la même luminance .

Cherchons maintenant l'éclairement d'un écran diffusant disposé sur l'image $[A_1B_1]$ de la source.

On rappelle que l'étendue du faisceau est $du = \frac{ds_1 ds'_1 \cos i_1 \cos i'_1}{r^2}$

On suppose que l'écran est disposé normalement à CC' $\Rightarrow \cos i_1 = 1$

$$\text{alors } e = \frac{d\phi}{ds_1} = \frac{B_1 du}{ds_1} = B_1 \frac{ds'_1 \cos i'_1}{r^2} = B \, d\omega_1 \quad (B_1 = B)$$

L'éclairement de l'image A_1B_1 d'une source lumineuse est égal au produit de la luminance de l'objet par l'angle solide sous lequel on

* ds' correspond au diaphragme d'entrée

ds correspond au diaphragme de sortie

voit d'un point de cette image le diaphragme qui limite dans le dernier milieu le faisceau utilisé..

Dans le cas de l'œil, l'éclairement de l'image retinienne sera alors le produit de la luminance de l'objet par l'angle solide ω_1 sur lequel on voit la pupille d'un point de la rétine, il est donc indépendant de la position de l'objet, de même pour la sensation lumineuse dans l'observation visuelle d'un objet lumineux.

4) Mesures photométriques:

La mesure photométrique consiste à mesurer l'intensité lumineuse d'une source dans une direction donnée. Cette mesure se fait par comparaison de cette intensité avec celle d'une source étalon. La comparaison est le plus souvent visuelle; l'œil est incapable d'évaluer le rapport de deux intensités, par contre il peut constater l'égalité des luminances de deux surfaces voisines.

* Dans les photomètres visuels l'œil examine deux surfaces diffusantes éclairées par les deux sources à comparer. Comme l'éclairement des deux images retiniennes ne dépend que de la luminance des sources l'égalité des sensations lumineuses produites exige l'égalité des luminances. Dans les conditions convenables d'utilisation du photomètre l'égalité des luminances impose celle des éclairagements.

L'égalité des éclairagements se traduit, en faisant varier les distances r et r' des sources au photomètre, par $\left[\frac{I}{r^2} = \frac{I'}{r'^2} \right]$.

* Dans les photomètres énergétiques, l'œil ne joue aucun rôle; l'énergie lumineuse est mesurée par des récepteurs appropriés. La photométrie énergétique est analogue à la photométrie visuelle; au flux lumineux (Lumen) correspond la puissance énergétique (watt) à la

luminance $B = \frac{d\Phi}{du}$ correspond la brillance énergétique $\beta = \frac{d\omega}{du}$.

D'après BRUHAT

Voir Bibliographie (18)

(Extraits) -

* * * * *

